

ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 3 (81), 2025

Группы специальностей:

- 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство
- 4.2. Зоотехния и ветеринария
- 4.3. Агроинженерия и пищевые технологии

Волгоград
Волгоградский ГАУ
2025

PROCEEDINGS

OF NIZHNEVOLZSKIY AGROUNIVERSITY COMPLEX:

SCIENCE AND HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

№ 3 (81), 2025

Groups of specialties:

- 4.1. Agronomy, forestry and water management
- 4.2. Animal science and veterinary medicine
- 4.3. Agroengineering and food technologies

Volgograd
Volgograd State Agrarian University
2025

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный аграрный
университет**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 3 (81), 2025***Группы специальностей:*

- 4.1. *Агрономия, лесное и водное хозяйство*
 4.2. *Зоотехния и ветеринария*
 4.3. *Агроинженерия и пищевые технологии*

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**THE MAGAZINE FOUNDER
Volgograd State
Agrarian University**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 3 (81), 2025***Specialty groups:*

- 4.1. *Agronomy, forestry and water management*
 4.2. *Animal science and veterinary medicine*
 4.3. *Agroengineering and food technologie*

ИЗВЕСТИЯНижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование**№ 3 (81), 2025**

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19.02.2010 г. № 686 журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук. Журнал индексируется в международных информационных системах **Web of Science (RSCI)**, **Agricultural Research Information System (AGRIS)**.

Официальный партнер международной организации **DOI Foundation (IDF)**, международной Ассоциации **Publishers International Linking Association (PILA)**, международного регистрационного агентства **CrossRef**.

Главный редактор:

Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Заместители главного редактора:

Шанров М.Н., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Фомин С.Д., доктор технических наук, зав. Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, Волгоградский ГАУ

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Бочарников В.С., доктор технических наук, Ученый секретарь, Волгоградский ГАУ

PROCEEDINGSof Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
science and higher vocational education**№ 3 (81), 2025**

According to the decision of Presidium of Higher certifying commission of Ministry of Education and science of Russia in 19.02.2010 № 686 the magazine was included into the list of leading peer-reviewed journals and issues where candidate and doctoral degree thesis basic scientific results can be published.

The journal is indexed in the International Information Systems **Web of Science (RSCI)**, **Agricultural Research Information System (AGRIS)**. Official partner of the International Organization **DOI Foundation (IDF)**, **The Publishers International Linking Association (PILA)**, and The International Registration Agency **CrossRef**

Editor-in-Chief:

Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products

Deputy Editors in Chief:

Shaprov M.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State University

Fomin S.D., Doctor of Technical Sciences, Head. Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State University

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State University

Bocharnikov V.S., Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary, Volgograd State Agrarian University

**Международный редакционный совет
научного журнала**

Главный редактор – Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Заместители главного редактора:

Шапров М.Н., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Фомин С.Д., доктор технических наук, зав. Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, Волгоградский ГАУ
<http://www.volgau.com/izvestiya>

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Бочарников В.С., доктор технических наук, Ученый секретарь Волгоградского ГАУ

Бабински Лазло, профессор, доктор, директор института кормовых и пищевых биотехнологий, Дебреценский университет (Венгрия)
<http://mek.unideb.hu/hu/node/71>

Дубенок Н.Н., **академик РАН**, член бюро отделения **РАН**, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
<http://www.timacad.ru/catalog/pps/detail.php?ID=1636>

Каштанова Е.Г., доктор, профессор, декан факультета с.-х., экотрофологии и ландшафтного развития, Анхальтский университет прикладных наук (г. Бернбург, Германия)
<https://www.hs-anhalt.de/en/university/service/directory-of-people/prof-dr-elena-kashtanova.html>

Кулик К.Н., **академик РАН**, Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ Агроэкологии РАН)
<http://www.cnsb.ru/AKDIL/akad/base/RK/000534.shtm>

Лихацевич А.П., **член-корреспондент Национальной академии Беларуси**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мелиорации (Республика Беларусь)
<http://nasb.gov.by/rus/members/>

**International Editorial Board
of the Scientific Journal**

Editor in Chief – Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, scientific director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, professor of the Volgograd State Agrarian University, Head of the Department of Food Production Technology of VolGTU, Honored Scientist of the Russian Federation, twice laureate of the Russian Government Prize in science and technology

Deputy Editor in Chief:

Shaprov M.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State University

Fomin S.D., Doctor of Technical Sciences, head of the Center for Scientometrics Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Bocharnikov V.S., Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary of the Volgograd State Agrarian University

Babinski Lazlo, professor, doctor, director of the Institute of Feed and Food Biotechnology, Debrecen University (Hungary)

Dubenok N.N., **Academician of the RAS**, member of the Bureau of the Branch of the RAS, Russian State Agrarian University named after Timiryazev

Kashtanova E.G., Doctor, Professor, Dean of the Faculty of Agriculture, Ecotrophology and Landscape Development, Anhalt University of Applied Sciences, Bernburg

Kulik K.N., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Federal Scientific Center for Agroecology, Melioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences

Likhatsevich A.P., **Corresponding Member, National Academy of Belarus**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Land Reclamation (Belarus)

Мелихов В.В., **член-корреспондент РАН**, научный руководитель Всероссийского НИИ орошаемого земледелия
<http://vniioz.ru/institut/sotrudniki.shtml>

Петрович Милан, доктор биотехнических (сельскохозяйственных) наук, профессор, зам. директора по науке, Институт животноводства, г. Белград, Земун (Республика Сербия)

Сейдави Алиреза, доктор наук, профессор кафедры кормления с.-х. животных факультета зоотехнии, гл. редактор Иранского журнала прикладной зоотехнии, Директор подразделения по науке и технологиям Исламского университета Азад, Раштский филиал (Иран)

Семененко С.Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, гл. науч. сотрудник, ВНИИОЗ

Сулаймонов Б.А., **академик АН РУз**, доктор биологических наук, ректор Ташкентского государственного аграрного университета, г. Ташкент (Республика Узбекистан)
<http://agriculture.uz/ru.php?/scientists/detail/28>

Турусов В.И., **академик РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева»

Ференц Саваи, профессор, доктор, ректор Капошварского Университета (Венгрия)
<http://english.ke.hu/university/managing-board>

Шаговнович Драган А., директор Института экономики, Белград (Республика Сербия)
<http://www.ecinst.org.rs/sites/default/files/page-files/dragan-sagovnovic-eng.pdf>

Шеварлич Миладин М., доктор агроэкономических наук, профессор экономики сельского хозяйства и кооперативов, заведующий кафедрой экономики сельского хозяйства и рынка Белградского университета, председатель Общества агроэкономистов Сербии (Республика Сербия)

Шилерова Эдита, Ph.D., член Академического сената Чешского земледельческого университета в Праге
<http://wp.czu.cz/cs/index.php/?r=1071&mp=person.info&idClovek=39>

Щедрин В.Н., **академик РАН**, доктор технических наук, профессор

Ятусевич А.И., **академик РАН**, доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь)
<http://www.vsavm.by/2012/09/04/yatusevich>

Melikhov V.V., **Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences**, Scientific Leader of the All-Russian Institute of Irrigated Agriculture

Petrovich Milan, Doctor of biotechnical (agricultural sciences), Professor, deputy Director for Science, Institute of Livestock, Belgrade, Zemun (Serbia)

Seidavi Alireza, Doctor of Science, Professor of the Department of Farm Animal Feeding of the Faculty of Animal Science, Editor-in-Chief of the Iranian Journal of Applied Animal Science, Director of the Science and Technology Division of the Islamic Azad University, Rasht Branch (Iran)

Semenenko S.Ya., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, VNIIOZ

Sulaimonov B.A., **academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**, Doctor of Biological Sciences, Rector of the Tashkent State Agrarian University, Tashkent (Uzbekistan)

Turusov V.I., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Agricultural Sciences, Voronezh FGBNU “Voronezh V.V. Dokuchaev FASC”

Savaii Ferenc, Professor, Doctor, Rector of Kaposvar University (Hungary)

Shagovnovich Dragan A., Director of the Institute of Economics, Belgrade (Serbia)

Shevarlich Miladin M., Doctor of Agricultural Economics, Professor of Agricultural Economics and Cooperatives, Head of the Department of Agricultural Economics and Market, University of Belgrade, Chairman of the Society of Agro-Economists of Serbia (Serbia)

Shilerova Edith, Ph.D., member of the Academic Senate of the Czech Agricultural University in Prague

Shchedrin V.N., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Technical Sciences, Professor

Yatusevich A.I., **Academician of RAS**, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Belarus)

Редакционная коллегия научного журнала**4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство****4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)**

Дубенок Н.Н., академик РАН, член бюро отделения РАН, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Егорова Г.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Зеленев А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр "Немчиновка"

Чамурлиев О.Г., доктор сельскохозяйственных наук, директор НИИ фундаментальных и прикладных агrobiотехнологий, Волгоградский ГАУ

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

Подковыров И.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский НИИ фитопатологии, г. Москва

Зеленев А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр "Немчиновка"

Егорова Г.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Тютюма Н.В., член-корреспондент РАН, профессор РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПАФ НЦ РАН

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

Подковыров И.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский НИИ фитопатологии, г. Москва

Зеленев А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр "Немчиновка"

Петров Н.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Семененко С.Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, гл. науч. сотрудник, ВНИИОЗ

Филин В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Editorial Board of the Scientific Journal**4.1. Agronomy, forestry and water management****4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences)**

Dubenok N.N., Academician of the RAS, member of the Bureau of the Branch of the RAS, Russian State Agrarian University named after Timiryazev

Egorova G.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Zelenev A.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center "Nemchinovka"

Chamurliev O.G., Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Volgograd State Agrarian University

4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (agricultural sciences)

Podkovyrov I.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow

Zelenev A.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center "Nemchinovka"

Egorova G.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Tyutyuma N.V., corresponding member of RAS, Professor of RAS, Doctor of Agricultural Sciences, Director of PAF SC RAS

4.1.3. Agrochemistry, agro-soil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences)

Podkovyrov I.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow

Zelenev A.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center "Nemchinovka"

Petrov N.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Semenenko S.Ya., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, VNIIOZ

Filin V.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (сельскохозяйственные науки)

Тютюма Н.В., **член-корреспондент РАН, профессор РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПАФ НЦ РАН

Петров Н.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Ахмедов А.Д., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Ходяков Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Чамурлиев О.Г., доктор сельскохозяйственных наук, директор НИИ фундаментальных и прикладных агробιοтехнологий, Волгоградский ГАУ

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (сельскохозяйственные науки)

Овчинников А.С., **академик РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Дубенок Н.Н., **академик РАН**, член бюро отделения **РАН**, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева

Кулик К.Н., **академик РАН**, Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ Агроэкологии РАН)

Мелихов В.В., **член-корреспондент РАН**, научный руководитель Всероссийского НИИ орошаемого земледелия
<http://vniioz.ru/institut/sotrudniki.shtml>

Ходяков Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Проездов П.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский ГАУ

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)

Лихацевич А.П., **член-корреспондент Национальной академии Беларуси**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мелиорации (Республика Беларусь)

Бочарников В.С., доктор технических наук, Ученый секретарь, Волгоградский ГАУ

Васильев С.М., доктор технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации

4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (agricultural sciences)

Tyutyuma N.V., **corresponding member of RAS, Professor of RAS**, Doctor of Agricultural Sciences, Director of PAF SC RAS

Petrov N.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Akhmedov A.D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Khodyakov E.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Chamurliev O.G., Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Volgograd State Agrarian University

4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (agricultural sciences)

Ovchinnikov A.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Volgograd State Agrarian University

Dubenok N.N., **Academician of the of the RAS**, member of the Bureau of the Branch of the RAS, Russian State Agrarian University named after Timiryazev

Kulik K.N., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Federal Research Centre of Agroecology, amelioration and protective afforestation RAS

Melikhov V.V., **Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences**, Scientific Leader of the All-Russian Institute of Irrigated Agriculture

Khodyakov E.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Proezdov P.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State Agrarian University

4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (technical sciences)

Likhatsevich A.P., **Corresponding Member, National Academy of Belarus**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Land Reclamation (Belarus)

Bocharnikov V.S., Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary of the Volgograd State Agrarian University

Vasiliev S.M., Doctor of Technical Sciences, Russian Research Institute for Problems of Land Reclamation

Ахмедов А.Д., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Пахомов А.А., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

Кулик К.Н., академик РАН, Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ Агроэкологии РАН)

Иванцова Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института естественных наук, Волгоградский госуниверситет

Кулик А.К., кандидат сельскохозяйственных наук, ФНЦ Агроэкологии РАН

Проездов П.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский ГАУ

Подковыров И.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский НИИ фитопатологии, г. Москва

4.2. Зоотехния и ветеринария

4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки)

Племышов К.В., член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, ректор ФГБОУ ВО «СПбГУВМ», г. Санкт-Петербург

Стекольников А.А., академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, ФГБОУ ВО «СПбГУВМ»

Ятусевич А.И., академик РАН, доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь)

Рыжкова Г.Ф., доктор биологических наук, профессор, Курская ГСХА им. Иванова И.И.

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Баймишев Х.Б., доктор биологических наук, профессор, Самарский ГАУ

Ряднова Т.А., кандидат биологических наук, доцент, Волгоградский ГАУ

Akhmedov A.D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Pakhomov A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.1.6 Forest science, silviculture, agroforestry, landscaping, forest pyrology and inventory (agricultural sciences)

Kulik K.N., Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Agroecology, amelioration and protective afforestation RAS

Ivantsova E.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University

Kulik A.K., Candidate of Agricultural Sciences, National Science Center of Agroecology RAS

Proezdov P.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State Agrarian University

Podkovyrov I.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow

4.2. Animal science and veterinary medicine

4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology (veterinary sciences)

Plemyashov K.V., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

Stekolnikov A.A., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

Yatusевич A.I., Academician of RAS, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Belarus)

Ryzhkova G.F., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kurgan State Agricultural Academy named after Ivanova I.I

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Baimishev Kh.B., Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara GAU

Ryadnova T.A., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University

4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Злепкин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки)

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

Ятусевич А.И., академик РАН, доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь)

Сашина Л.Ю., доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией иммунологии, Всероссийский НИ ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии РАН

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)

Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Мосолов А.А., доктор биологических наук, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Варакин А.Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary and sanitary expertise and biosafety (veterinary sciences)

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Zlepkin D.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Sukhinin A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

4.2.3. Infectious diseases and animal immunology (veterinary sciences)

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Sukhinin A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

Yatusевич A.I., **Academician of RAS**, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Belarus)

Sashnina L.Yu., Doctor of Veterinary Sciences, Chief Researcher, Head Laboratory of Immunology, All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Russian Academy of Sciences

4.2.4 Private zootechnics, feeding, feed and livestock production technologies (agricultural sciences)

Gorlov I.F., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Agricultural Sciences, scientific director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, professor of the Volgograd State Agrarian University, Head of the Department of Food Production Technology of VolGTU, Honored Scientist of the Russian Federation, twice laureate of the Russian Government Prize in science and technology

Mosolov A.A., Doctor of Biological Sciences, Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Varakin A.T., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Натыров А.К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан аграрного факультета Калмыцкого государственного университета

Сложенкина М.И., **член-корреспондент РАН**, доктор биологических наук, профессор, директор Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Чамурлиев Н.Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки)

Злепкин Д.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Мосолова Н.И., доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции

Арылов Ю.Н., доктор биологических наук, профессор, Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова

Дускаев Г.К., доктор биологических наук, профессор РАН, первый заместитель директора, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН

Шлыков С.Н., доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)

Горлов И.Ф., **академик РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Баймишев Х.Б., доктор биологических наук, профессор, Самарский ГАУ

Волохов И.М., доктор биологических наук, профессор, ВНИИплем

Коханов А.П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Natyrov A.K., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Agrarian Faculty of Kalmyk State University

Slozhenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Professor, Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Chamurliiev N.G., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd Agrarian State University

4.2.4 Private animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products (biological sciences)

Zlepkin D.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Mosolova N.I., Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products

Arylov Yu.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University

Duskaev G.K., Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director, Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences

Shlykov S.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, Stavropol State Agrarian University

4.2.5 Breeding, Selection, Genetics and Animal Biotechnology (Agricultural Sciences)

Gorlov I.F., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Agricultural Sciences, scientific director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, professor of the Volgograd State Agrarian University, Head of the Department of Food Production Technology of VolGTU, Honored Scientist of the Russian Federation, twice laureate of the Russian Government Prize in science and technology

Baimishev Kh.B., Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara GAU

Volokhov I.M., Doctor of Biological Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Breeding

Kohanov A.P., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Ранделин А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Федотов С.В., доктор ветеринарных наук, профессор, Московская ГАВМиБ

Чеходариди Ф.И., доктор ветеринарных наук, профессор, Горский ГАУ

Коханов М.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (биологические науки)

Ранделин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

Сложеникина М.И., **член-корреспондент РАН**, доктор биологических наук, профессор, директор Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Мосолова Н.И., доктор биологических наук, Главный научный сотрудник Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Злепкин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (сельскохозяйственные науки)

Ранделин Д.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Васильев А.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина

Гусева Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

Бахарева А.А., доктор сельскохозяйственных наук, Астраханский государственный технический университет, Институт рыбного хозяйства, биологии и природопользования

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки)

Ранделин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

Randelin A.V., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Volgograd State Agrarian University

Fedotov S.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine

Chekhodaridi F.I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Gorsky State Agrarian University

Kohanov M.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.2.5 Breeding, Selection, Genetics and Animal Biotechnology (Agricultural Sciences)

Randelin D. A., Doctor of Biological Sciences, Volgograd State Agrarian University

Slozhenskina M.I., Doctor of Biological Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Professor, Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Mosolova N.I., Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Zlepkin D.A., Doctor of Biological Sciences, Volgograd State Agrarian University

4.2.6. Fisheries, aquaculture and industrial fisheries (agricultural sciences)

Randelin D. A., Doctor of Biological Sciences, professor, Volgograd State Agrarian University

Vasiliev A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Bio-Technology – MBA named after K. I. Scriabin

Guseva Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

Bakhareva A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Astrakhan State Technical University, Institute of Fisheries, Biology and Environmental Management

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки)

Randelin D. A., Doctor of Biological Sciences, Volgograd State Agrarian University

Васильев А.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина

Гусева Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

Бахарева А.А., доктор сельскохозяйственных наук, Астраханский государственный технический университет, Институт рыбного хозяйства, биологии и природопользования

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Лихацевич А.П., **член-корреспондент Национальной академии Беларуси**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мелиорации (Республика Беларусь)

Зиганшин Б.Г., доктор технических наук, **профессор РАН**, первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации, Казанский ГАУ

Успенский И.А., доктор технических наук, профессор, Рязанский ГАТУ

Шапров М.Н., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Фомин С.Д., доктор технических наук, Волгоградский ГАУ

Новиков А.Е., доктор технических наук, **член-корр. РАН**, ФГБНУ ВНИИОЗ, директор

Ряднов А.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Борисенко И.Б., доктор технических наук, Волгоградский ГАУ

Гапич Д.С., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)

Юдаев И.В., доктор технических наук, профессор, Кубанский ГАУ

Евдокимов А.П., кандидат технических наук, доцент, Волгоградский ГАУ

Vasiliev A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Bio-Technology – MBA named after K. I. Scriabin

Guseva Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

Bakhareva A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Astrakhan State Technical University, Institute of Fisheries, Biology and Environmental Management

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Likhatsevich A.P., **Corresponding Member, National Academy of Belarus**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Land Reclamation (Belarus)

Ziganshin B.G., Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, First Vice-Rector – Vice-Rector for Scientific Work and Digital Transformation, Kazan State University

Uspensky I.A., Doctor of Technical Sciences, Ryazan State Agrotechnological University

Shaprov M.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Fomin S.D., Doctor of Technical Sciences, Volgograd State Agrarian University

Novikov A.E., Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, GNU VNIIOZ, Director

Ryadnov A.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Borisenko I.B., Doctor of Technical Sciences, Volgograd State Agrarian University

Gapich D.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.3.2. Electrical technologies, electrical equipment and power supply of the agro-industrial complex (technical sciences)

Yudaev I.V., Doctor of technical sciences, professor, Kuban State University

Evdokimov A.P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University

Дарманиян А.П., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Гапич Д.С., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.3.3. Пищевые системы (биологические науки)

Чернуха И.М., академик РАН, доктор технических наук, профессор, ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова»

Бабински Лазло, профессор, доктор, директор института кормовых и пищевых биотехнологий, Дебреценский университет (Венгрия)
<http://mek.unideb.hu/hu/node/71>

Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Сложеникина М.И., член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Гиро Т.М., доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Храмова В.Н., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, декан факультета технологии пищевых производств

Золотокопова С.В., доктор технических наук, профессор, Астраханский ГТУ, Ученый секретарь

Мосолова Н.И., доктор биологических наук, главный научный сотрудник Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Darmanyan A.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State University

Gapich D.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.3.3. Food systems (biological sciences)

Chernukha I.M., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Technical Sciences, Professor, V. M. Gorbato Food Science Research Center"

Babinski Lazlo, professor, doctor, director of the Institute of Feed and Food Biotechnology, Debrecen University (Hungary)

Gorlov I.F., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Agricultural Sciences, scientific director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, professor of the Volgograd State Agrarian University, Head of the Department of Food Production Technology of VolGTU, Honored Scientist of the Russian Federation, twice laureate of the Russian Government Prize in science and technology

Slozhenskina M.I., Doctor of Biological Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Professor, Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Giro T.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, RGAU-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Khramova V.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Technical University, Dean of the Faculty of Food Production Technology

Zolotokopova S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Astrakhan State Technical University, Scientific Secretary

Mosolova N.I., Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

**АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО /
AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT**

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-01

**THE FACTORS OF THE ANTHROPOGENIC-CLIMATIC TYPE OF THE DESERTIFICATION OF
NATURAL FORAGE LANDS IN THE ASTRAKHAN REGION****Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K.***Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoje Zaymische, Chernoyarsky District, Astrakhan Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: gbulah@mail.ru

Received 08.03.2025

Submitted 06.05.2025

Summary

The article presents the results of long-term studies of the anthropogenic-climatic type of desertification in the Astrakhan region and its impact on succession processes in arid pasture phytocenoses of the region, including changes in their productivity and forage value.

Abstract

Introduction. Analysis of the state and rate of degradation revealed four types of desertification and the factors that determine them: climatic type (primary) – desertification (air temperature, precipitation and their ratio), anthropogenic-climatic type – desertification (climatic, anthropogenic), anthropogenic type (secondary) (human impact without climate change) and man-made. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), over the past 100 years there has already been an increase in average temperature by 0.3-0.6 °C, and sea level by 0.1-0.2 m. Modern outbreaks of anthropogenic degradation have been noted in conditions of xeritization and increased evaporation: the first occurred in the 50-60s (plowing of virgin lands), the second in the 70-80s during the period of intensification of agricultural production. The results of anthropogenic and climatic stresses were also revealed: degraded pastures turned into shifting sands and “scalped” lands, the first man-made European desert arose, and the rate of avalanche-like desertification reached over 50 thousand hectares per year. **The objective of the research:** to identify climate changes in the Astrakhan region and the directions of their dynamics, to determine the direction of the dynamics of the actual livestock load and to study the transformation of the ecological state of arid pasture phytocenoses by administrative districts for the period 1978-2023. **Materials and methods.** To identify climate changes in the Astrakhan region and the direction of their dynamics, we assessed hydrothermal conditions for the period 1978-2023 based on data from three meteorological stations, including: Astrakhan (southern part), Verkhniy Baskunchak village (northern part, left bank of the Volga River), Cherny Yar village (northern part, right bank of the Volga River). The actual load was determined based on the calculation of conventional heads of sheep per 1 hectare of pasture according to Astrakhanstat data. **Object of study** – quantitative climate indicators, including: the hydrothermal coefficient of G. T. Selyaninov, the moisture coefficient of Vysotsky-Ivanov, the Koeppen method and the Holdridge scheme, the livestock load on the pasture ecosystems of the region, the dynamics and trend of its change over 46 years. **The subject** of the study was trend lines as indicators of the direction of the development trend of processes of change in hydrothermal conditions, changes in pasture load, and succession processes in arid pasture phytocenoses of the region. **Conclusions.** The Astrakhan region is experiencing a real climate change aimed at arid warming. An increase in pasture load led to a decrease in pasture productivity, and a decrease led to an increase in biological yield. At the same time, the nutritional value of pasture feed, due to a change in species composition, has an invariable tendency to decrease.

Keywords: desertification of forage lands, degradation of pastures, causes of pasture degradation, productivity of pastures, nutritional value of pasture fodder.

Citation. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K. The factors of the anthropogenic-climatic type of the desertification of natural forage lands in the Astrakhan region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 13-21 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-01.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All authors of this article reviewed and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.95

**ФАКТОРЫ АНТРОПОГЕННО-КЛИМАТИЧЕСКОГО ТИПА ОПУСТЫНИВАНИЯ
ПРИРОДНЫХ КОРМОВЫХ УГОДИЙ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ****Тютюма Н. В., доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН
Булахтина Г. К., кандидат сельскохозяйственных наук***ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»
с. Соленое Займище, Черныйарский район, Астраханская область, Российская Федерация*

Актуальность. Анализ состояния и темпов деградации выявил четыре типа опустынивания и факторы, их определяющие: климатический тип (первичный) – дезертизация (температура воздуха, осадки и их соотношение), антропогенно-климатический тип – дезертификация (климатические,

антропогенные), антропогенный тип (вторичный) (воздействие человека без климатических изменений) и техногенно-нарушенный. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) за 100 лет уже произошло увеличение средней температуры на 0,3-0,6 °С, а уровня моря – на 0,1-0,2 м. Были отмечены современные всплески антропогенной деградации в условиях ксератизации и увеличения испаряемости: первая произошла в 50-60-х годах (распашка целины), вторая – в 70-80-х годах в период интенсификации сельскохозяйственного производства. Также были выявлены результаты антропогенно-климатических стрессов: деградированные пастбища превращались в подвижные пески и «скальпированные» земли, возникла первая рукотворная европейская пустыня, скорость лавинообразного опустынивания достигала свыше 50 тыс. га в год. **Цель исследований:** выявить климатические изменения на территории Астраханской области и направления их динамики, определить направление динамики фактической животноводческой нагрузки и изучить трансформацию экологического состояния аридных пастбищных фитоценозов по административным районам за период 1978-2023 гг. **Материалы и методы.** Для выявления климатических изменений на территории Астраханской области и направления их динамики нами была проведена оценка гидротермических условий за период 1978-2023 гг. по данным трех метеостанций, в т.ч.: г. Астрахань (южная часть), с. Верхний Баскунчак (северная часть, левобережье р. Волга), с. Черный Яр (северная часть, правобережье р. Волга). Определение фактической нагрузки проводилось из расчета условных голов овец на 1 га пастбища по данным Астраханьстат. **Объект исследования** – количественные показатели климата, в том числе: гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова, метод Кёппена и схема Холдриджа, животноводческая нагрузка на пастбищные экосистемы региона, динамика и тенденция ее изменения за 46 лет. **Предметом** изучения являлись линии тренда как показатели направленности тенденции развития процессов изменения гидротермических условий, изменения пастбищной нагрузки, и сукцессионных процессов в аридных пастбищных фитоценозах региона. **Выводы.** На территории Астраханской области происходит реальное изменение климата, направленное на аридное потепление. Увеличение пастбищной нагрузки приводило к снижению продуктивности пастбищ, а снижение – к увеличению биологической урожайности. При этом питательность пастбищного корма, в связи со сменой видового состава, имеет неизменную тенденцию к снижению.

Ключевые слова: опустынивание кормовых угодий, деградация пастбищ, причины деградации пастбищ, продуктивность пастбищ, питательность пастбищного корма.

Цитирование. Тютюма Н. В., Булахтина Г. К. Факторы антропогенно-климатического типа опустынивания природных кормовых угодий Астраханской области. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 13-21. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-01.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Процессы аридизации и опустынивания в мире в различных регионах имеют общие показатели: деградация растительного покрова с последующей эрозией почв в результате чрезмерного выпаса, усиленная эрозия и дефляция засушливых земель и нерациональное их использование под богарное земледелие без учета особенностей почвенного покрова, вторичное засоление, подщелачивание орошаемых и прилегающих к ним земель [1].

По данным Национального доклада «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» (2019) в Астраханской области на площади 2,8 млн га (без учета территории поймы) к уровню деградации «бедствие» относится около 36 %, к уровню «кризис» – 28 %, «риск» – 22 % и «норма» – 14 % [2].

Залибеков З. Г. (2010) отмечает, что анализ состояния и темпов опустынивания выявил недостаточность знаний взаимосвязи этого процесса с колебаниями климата. Поэтому им были предложены типы опустынивания и факторы их определяющие, в т.ч.: климатический тип (первичный) – дезертизация (температура воздуха, осадки и их соотношение), антропогенно-климатический тип – дезертификация (климатические, антропогенные), антропогенный тип (вторичный) (воздействие человека без климатических изменений) и техногенно-нарушенный.

Климатическое опустынивание характерно для тех зон, где молодые пустыни образовались после окончания плейстоцена (ледникового периода) в результате дезертизации. Это относительно медленный процесс, вызываемые климатическими изменениями и тектоническими процессами [3].

По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) за 100 лет уже произошло увеличение средней температуры на 0,3-0,6 °С, а уровня моря – на 0,1-0,2 м. К 2050 году концентрация CO₂ в атмосфере удвоится, в результате чего увеличение глобальной температуры за 10 лет составит 0,3 °С. [4, 5].

На территории Калмыкии на современном этапе отмечаются такие климатические изменения, как теплые зимы с частыми оттепелями, осенний период – теплыми положительными температурами и большим количеством осадков в октябре и ноябре. Лето характеризуется продолжительными засухами и высокими температурами (более 40 °С), с сильными порывами ветра и редкими грозами. Все это приводит к увеличению испарения, соответственно к сокращению площади полезного травостоя и снижению доли пастбищных кормов [6-8].

При этом Шумова Н. А. (2021) в результате своих исследований определила тенденцию гумидного потепления (увеличение среднего увлажнения) на территории Республики Калмыкия [9].

Поскольку основное направление сельскохозяйственной деятельности во всех аридных регионах – это пастбищное животноводство, соответственно, здесь будет распространен второй тип опустынивания – антропогенно-климатический. Были отмечены современные вспышки антропогенной деградации в условиях ксератизации и увеличения испаряемости: первая произошла в 50-60-х годах (распашка целины), вторая – в 70-80-х годах в период интенсификации сельскохозяйственного производства. Также были выявлены результаты антропогенно-климатических стрессов: деградированные пастбища превращались в подвижные пески и «скальпированные» земли, возникла первая рукотворная европейская пустыня, скорость лавинообразного опустынивания достигала свыше 50 тыс. га в год. Потребовались колоссальные усилия науки и практики для того, чтобы остановить это катастрофическое явление, спровоцированное человеком [10-16].

Поэтому на современном этапе первоочередной задачей становится изучение деградированных экосистем, их динамики и механизма проявления негативных воздействий антропогенного и природного опустынивания.

Материалы и методы.

Объект исследования – количественные показатели климата, в том числе гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова, метод Кёппена и схема Холдриджа, которые были рассчитаны на основе данных о температуре воздуха и осадках на трех метеостанциях, животноводческая нагрузка на пастбищные экосистемы региона, динамика и тенденция ее изменения за временной интервал 1978-2023 гг.

Предметом изучения являлись линии тренда как показатели направленности тенденции развития процессов изменения гидротермических условий, изменения пастбищной нагрузки, и сукцессионных процессов в аридных пастбищных фитоценозах региона.

Для выявления климатических изменений на территории Астраханской области и направления их динамики нами была проведена оценка гидротермических условий за период 1978-2023 гг. по данным трех метеостанций, в т.ч.: г. Астрахань (южная часть), с. Верхний Баскунчак (северная часть, левобережье р. Волга), с. Черный Яр (северная часть, правобережье р. Волга). Первые две метеостанции включены в Глобальную сеть наблюдений за климатом. Сбор базы многолетних данных метеостанции с. Черный Яр проводился сотрудниками ФГБНУ «ПАФНЦ РАН».

Коэффициент вариации среднемноголетних показателей температуры воздуха и суммы осадков в Астраханской области показывает среднее рассеивание данных, поскольку меньше 33 % (Лакин Г. Ф., 1980).

Чтобы получить более точный результат исследований, опираясь на методические разработки доктора географических наук Шумовой Н. А. [17], использовали наиболее известные в России и мировой практике количественные показатели климата, в том числе: гидротермический коэффициент Селянинова, коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова, метод Кёппена и схема Холдриджа.

В каждом исследуемом районе был выделен реперный участок, с привязкой к населенному пункту, на котором проводили сбор базы данных. Информация по ботаническому составу, урожайности и кормовой ценности пастбищного корма участка были получены: за 1978-1999 годы – в Отделах землеустройства и Управлениях сельского хозяйства административных районов Астраханской области, за 2009-2022 гг. – в экспедиционных исследованиях ФГБНУ «ПАФНЦ РАН».

Определение фактической нагрузки проводилось из расчета условных голов овец на 1 га пастбища по данным Астраханьстат. Математическая обработка полученных данных осуществлялась по «Методике полевого опыта» Б. А. Доспехова (1985), построение графиков и линий тренда – с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Результаты исследования. Наши исследования имели две цели: во-первых, выявить климатические изменения на территории Астраханской области и направления их динамики, во-вторых, определить направление динамики фактической животноводческой нагрузки и изучить трансформацию экологического состояния аридных пастбищных фитоценозов по административным районам за период 1978-2023 гг.

В России наиболее популярным показателем климата является гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), который характеризует уровень влагообеспеченности территории. Используя ГТК, Селянинов Г. Т. выделял семь природных зон, в т.ч. полупустыня занимала интервал между показателями ГТК 0,2-0,4. На основе многолетних данных ГТК и таблицы распределения природных зон были выявлены диапазоны динамики гидротермического коэффициента за период 1978-2023 гг. по метеостанциям Астраханской области, которые соответствуют природной зональности от пустыни до типичной степи. За рассматриваемый временной интервал исследования ГТК Селянинова Г. Т. показали, что в среднем в 23 (50 %) случаях гидротермические условия территории Астраханской области соответствовали природной зоне полупустыни, в 15,3 (33,3 %) случаях – зоне степей, в 7,7 (16,7 %) случаях – зоне пустынь (таблица 1).

Таблица 1 – Природные зоны, определённые на основе количественных показателей

ГТК Селянинова Г. Т. по метеостанциям Астраханской области (число случаев, %)

Table 1 – Natural zones determined on the basis of quantitative indicators of the State Customs Committee of Selyaninov G. T. for meteorological stations of the Astrakhan region (number of cases, %)

Метеостанции / Weather stations	Число случаев, % / Number of cases, %		
	Природные зоны / Natural areas		
	Пустыня / Desert	Полупустыня / Semi-desert	Степь / Steppe
с. Черный Яр / Cherny Yar	20,0	41,0	39,0
с. Верхний Баскунчак / Verkhniy Baskunchak	13,0	48,0	39,0
г. Астрахань / Astrakhan	17,0	61,0	22,0
Средний % / Average %	16,7	50,0	33,3

Линейная линия тренда на графиках и ее формула по метеостанциям с. Черный Яр ($y = -0,0004x + 0,3733$), с. Верхний Баскунчак ($y = -0,0024x + 0,4233$) и г. Астрахань ($y = -0,0032x + 0,4022$) показали, что в межгодовом распределении гидротермического коэффициента прослеживается достоверная тенденция его уменьшения, что свидетельствует о прогрессирующем аридном потеплении территории.

Следующим объектом исследования был коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова. На основании коэффициента увлажнения Ивановым Н. Н. (1941) было выделено пять природных зон, в т.ч. полупустыня находилась между показателями коэффициентов увлажнения 0,1-0,3. По данным расчета коэффициента увлажнения (КУ) Высоцкого-Иванова было выявлено, что за рассматриваемый временной интервал гидротермические условия территории Астраханской области не соответствовали природной зоне пустынь, зоне полупустынь соответствовали в 37 (80,3 %) случаях, зоне степей – в 9 (19,7 %) случаях (таблица 2).

Таблица 2 – Природные зоны, определённые на основе количественных показателей коэффициента увлажнения Высоцкого-Иванова по метеостанциям Астраханской области (число случаев, %)

Table 2 – Natural zones determined on the basis of quantitative indicators of the Vysotsky-Ivanov moisture coefficient by meteorological stations of the Astrakhan region (number of cases, %)

Метеостанции / Weather stations	Число случаев, % / Number of cases, %		
	Природные зоны / Natural areas		
	Пустыня / Desert	Полупустыня / Semi-desert	Степь / Steppe
с. Черный Яр / Cherny Yar	-	74,0	26,0
с. Верхний Баскунчак / Verkhniy Baskunchak	-	74,0	26,0
г. Астрахань / Astrakhan	-	93,0	7,0
Средний % / Average %	-	80,3	19,7

Линейная линия тренда на графиках и ее формула по МС с. Черный Яр ($y = -0,001x + 0,2643$), с. Верхний Баскунчак ($y = -0,0012x + 0,2778$), г. Астрахань ($y = -0,0012x + 0,2208$) показали, что в межгодовом распределении коэффициента увлажнения прослеживается достоверная тенденция его уменьшения, что свидетельствует о прогрессирующем аридном потеплении территории.

Метод Кёппена. Кёппен В. П., классифицируя засушливый климат, выделял «жаркие и холодные пустыни» со среднегодовой температурой воздуха $T > 18^\circ\text{C}$ (жаркие пустыни) и $T < 18^\circ\text{C}$ (холодные пустыни). Среднегодовое значение среднегодовой температуры воздуха на трех метеостанциях Астраханской области составило $9,9^\circ\text{C}$, что позволило отнести исследуемую территорию к «холодной пустыне». Для определения сезонности увлажнения был проведен анализ сумм осадков за 1978-2023 гг. (таблица 3), который показал, что осадки теплого периода в Астраханской области составляли 51,0-58,0 % от годового количества.

Таблица 3 – Распределение осадков в течение года по метеостанциям Астраханской области, мм
Table 3 – Distribution of precipitation during the year by meteorological stations of the Astrakhan region, mm

Показатели за 1978-2023 гг. / Indicators for 1978-2023	Метеостанции / Weather stations		
	Черный Яр / Cherny Yar	Верхний Баскунчак / Verkhniy Baskunchak	Астрахань / Astrakhan
среднегодовая сумма осадков, мм – Pr / average annual precipitation, mm – Rg	268,2	279,2	226,0
средняя сумма осадков теплого периода (апрель-сентябрь), мм – Pr / average pre- cipitation of the warm period (April- September), mm – Rt	136,3	150,8	130,9
Pr / Pr 100, % / Rt/Wg 100, %	51,0	54,0	58,0

По методу Кёппена В. П., если осадки составляют более 70,0 % от годовых значений, то такое сезонное увлажнение относится к типу преобладания теплого или холодного периода. В нашем случае, когда это значение не превышает 60,0 % в теплый период (апрель-сентябрь), можно считать распределение осадков в течение года равномерным. Чтобы оценить гидротермические условия Астраханской области по методу В. П. Кёппена, мы, в соответствии с таблицей 4, использовали выражение $T+7 \leq P \leq 2(T+7)$.

Таблица 4 – Соотношение между среднегодовой температурой воздуха (T) и годовой суммой осадков (P) для сухих зон по методу В. П. Кёппена

Table 4 – Relationship between the mean annual air temperature (T) and the annual amount of precipitation (P) for dry zones according to the method of W. P. Köppen

Сезонное увлажнение / Seasonal moisture	Степи (семиаридный) / Steppes (semi-arid)	Пустыни (аридный) / Deserts (arid)
преобладание осадков холодного периода / predominance of precipitation of the cold period	$P \leq 2T$	$P < T$
преобладание осадков тёплого периода / pre- dominance of precipitation of the warm period	$T+14 \leq P \leq 2T+14$	$P < T+14$
равномерное распределение осадков в те- чение года / uniform distribution of precipitation throughout the year	$T+7 \leq P \leq 2(T+7)$	$P < T+7$
примечание: T – среднегодовая температура воздуха, $^\circ\text{C}$; P – годовая сумма осадков, см. note: T is the average annual air temperature, $^\circ\text{C}$; P is the annual amount of precipitation, cm.		

На основе данных о среднегодовых температурах воздуха (T) и годовых суммах осадков (P) за период 1978-2023 гг. на трех метеостанциях Астраханской области были получены линии тренда температур и годовых сумм осадков с соответствующими формулами (таблица 5).

Таблица 5 – Формулы линейных линий тренда температуры воздуха (T) и осадков (P) по методу Кёппена
Table 5 – Formulas of linear trend lines for air temperature (T) and precipitation (P) according to the Köppen method

Метеостанции / Weather stations	Формулы линейных линий тренда / Linear Trend Line Formulas		
	T+7	2(T+7)	P
с. Черный Яр / Cherny Yar	$y = 0,0539x + 15,363$	$y = 0,1079x + 30,726$	$y = -0,0101x + 27,056$
с. Верхний Бас- кунчак / Verkhniy Baskunchak	$y = 0,0565x + 15,113$	$y = 0,113x + 30,227$	$y = -0,0413x + 28,879$
г. Астрахань / Astrakhan	$y = 0,0539x + 16,543$	$y = 0,1079x + 33,086$	$y = -0,0576x + 23,958$

Полученные данные с использованием метода В. П. Кёппена дают возможность определить количественные показатели (число случаев) гидротермических условий в Астраханской области за период 1978-2023 гг. (таблица 6).

Таблица 6 – Природные зоны, определённые на основе количественных показателей гидротермических условий по методу Кёппена В. П. на МС Астраханской области за период 1978-2023 гг. (число случаев, %)

Table 6 – Natural zones determined on the basis of quantitative indicators of hydrothermal conditions according to the method of V. P. Köppen at the MS of the Astrakhan region for the period 1978-2023 (number of cases, %)

Метеостанции / Weather stations	Климатические природные зоны / Climatic natural zones		
	Степь / Steppe $T+7 \leq P \leq 2(T+7)$	Пустыня / Desert $P < T+7$	Повышенное увлажнение / Increased hydration $P > 2(T+7)$
с. Черный Яр / Cherny Yar	70,0	7,0	23,0
с. Верхний Баскунчак / Verkhniy Baskunchak	78,0	-	22,0
г. Астрахань / Astrakhan	74,0	24,0	2,0
средний % / average %	74,0	10,3	15,7

Анализ данных показал, что в Астраханской области в период 1978-2023 гг. в среднем в 34 (74 %) случаях из 46 наблюдались гидротермические условия, соответствующие природной зоне степей, в 5 (10,3 %) случаях – зоне пустынь, в 7 (15,7 %) случаях – более увлажненным территориям. Динамика годовых температурных характеристик (вектор и формулы линий тренда) имеют положительное направление (т.е. со временем увеличиваются), а годовых сумм осадков – отрицательное, что, очевидно, свидетельствует об аридном потеплении.

Схема Холдриджа. Базовым расчётным показателем схемы Холдриджа является эвапотранспирационное отношение, которое показывает степень засушливости территории и рассчитывается как отношение годовой суммы испаряемости к годовой сумме осадков. По данным трех метеостанций Астраханской области за период 1978-2023 гг. нами было рассчитано эвапотранспирационное отношение Холдриджа. Формула линейной линии тренда имела положительное значение по метеостанциям: с. Черный Яр $y = 0,0091x + 2,4276$, с. Верхний Баскунчак $y = 0,0116x + 2,1871$ и г. Астрахань $y = 0,0219x + 2,7656$, т.е. было отмечено увеличение эвапотранспирационного отношения Холдриджа, что достоверно свидетельствует о развитии аридного потепления. Результаты использования схемы Холдриджа отмечены в таблице 7.

Таблица 7 – Природные зоны, определённые по схеме Холдриджа по метеостанциям Астраханской области за период 1978-2023 гг. (число случаев, %)

Table 7 – Natural zones determined according to the Holdridge scheme for meteorological stations of the Astrakhan region for the period 1978-2023 (number of cases, %)

Метеостанции / Weather stations	Природные зоны / Natural areas		
	Степи / Steppe	колючекустарниковые степи (полупустыни) / thorny bush steppes (semi-deserts)	кустарниковые пустыни / shrub deserts
с. Черный Яр / Cherny Yar	26,0	30,0	44,0
с. Верхний Баскунчак / Verkhniy Baskunchak	28,0	35,0	37,0
г. Астрахань / Astrakhan	7,0	22,0	71,0
средний % / average %	20,3	29,0	50,7

Данные таблицы 7 в совокупности с положительным трендом эвапотранспирационных отношений Холдриджа достоверно свидетельствуют об аридном потеплении на территории Астраханской области.

Результаты вышеизложенных исследований, проведенных разными методами, используя массив многолетних данных за период 1978-2023 гг. трех метеорологических станций Астраханской области, отражены в таблице 8. Мы объединили в одну группу годы, когда гидротермические условия территории Астраханской области соответствовали пустынным и полупустынным природным зонам. К другой группе были отнесены годы, по гидротермическим условиям соответствующие различным типам степей.

Таблица 8 – Природные зоны, определённые по количественным показателям климата разных авторов (число случаев, %)

Table 8 – Natural zones determined by quantitative climate indicators of different authors (number of cases, %)

Количественные показатели климата / Quantitative climate indicators	Природные зоны / Natural areas	
	Степь / Steppe	Полупустыня и пустыня / Semi-desert and desert
Гидротермический коэффициент Селянинова / Selyaninov's hydrothermal coefficient	33	67
Коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова / Vysotsky-Ivanov moisture coefficient	20	80
Метод Кёппена / Köppen method	90	10
Схема Холдриджа / Holdridge scheme	20	80
Среднее / Average	40	60

На втором этапе наших исследований были поставлены задачи: провести мониторинг фактической нагрузки выпасаемых животных на аридные пастбища за период 1978-2023 гг. в сравнении с утвержденными предельно допустимыми нормами, выявить тенденцию ее изменения для диагностики причин развития процессов опустынивания и провести исследования сукцессионных процессов в пастбищных фитоценозах, в т.ч. изменение ботанического состава, продуктивности и питательной ценности, определить тенденцию этих изменений во времени по административным районам Астраханской области. Исследования проводились на выбранных реперных участках в каждом районе области.

Влияние нагрузки животных на пастбищный фитоценоз можно проследить по линиям тренда урожайности и питательной ценности пастбищной растительности (таблица 9).

Таблица 9 – Формулы линий тренда пастбищной нагрузки, урожайности и питательной ценности пастбищных фитоценозов по районам Астраханской области (за период 1978-2023 гг.)

Table 9 – Formulas of trend lines of pasture load, yield and nutritional value of pasture phytocenoses by districts of the Astrakhan region (for the period 1978-2023)

Районы / Districts	Формула линии тренда / Trend Line Formula		
	пастбищной нагрузки / grazing load	урожайности фитоценоза / of phytocenosis yields	питательной ценности фитоценоза / nutritional value of phytocenosis
Черноярский / Chernoyarsky	$y=0,0015x^2-0,0638x+1,9426$	$y = - 0,12x+1,045$	$y = - 0,078x+0,785$
Енотаевский / Enotaevsky	$y=0,001x^2-0,059x+1,681$	$y = - 0,103x+0,85$	$y = - 0,088x+0,0755$
Наримановский / Narimanovsky	$y=0,0016x^2-0,0674x+1,7356$	$y = - 0,091x+0,785$	$y = - 0,091x+0,69$
Ахтубинский / Akhtubinsky	$y=0,0013x^2-0,0614x+2,2109$	$y = - 0,188x+1,195$	$y = - 0,134x+0,895$
Харабалинский / Kharabalinsky	$y= - 0,0001x^2-0,005x+1,726$	$y = 0,042x+1,185$	$y = - 0,067x+0,85$
Лиманский / Limansky	$y=0,0014x^2-0,0597x+1,5792$	$y = - 0,351x+3,4$	$y = - 0,073x+0,805$
Красноярский / Krasnoyarsky	$y=0,0023x^2-0,106x+3,4332$	$y = - 0,041x+1,545$	$y = - 0,039x+0,83$
Приволжский / Privolzhsky	$y=0,0101x^2-0,4718x+12,206$	$y = - 0,371x+2,845$	$y = - 0,1x+0,96$
Камызякский / Kamyzyaksky	$y=0,0085x^2-0,4896x+12,614$	$y = - 0,055x+1,755$	$y = - 0,09x+0,945$
Икрянинский / Ikryaninsky	$y=0,006x^2-0,3066x+7,4798$	$y = - 0,112x+1,015$	$y = - 0,093x+0,895$
Володарский / Volodarsky	$y=0,0081x^2-0,3849x+10,822$	$y = - 0,173x+1,835$	$y = - 0,112x+0,975$

Данные таблицы 9 хорошо демонстрируют негативное влияние увеличения нагрузки животных на пастбищный фитоценоз, в т.ч. в десяти районах при восходящих линиях тренда нагрузки, т.е. стабильного ее увеличения по годам, линии тренда урожайности и питательной ценности фитоценозов пастбищ являются нисходящими, т.е. показывают такое же

стабильное их снижение. При этом в Харабалинском районе, где пастбищная нагрузка с годами стала снижаться, о чем говорит формула нисходящей линии тренда, урожайность фитоценоза начала увеличиваться (восходящая линия тренда), но питательная ценность растительности пастбища продолжала снижаться, поскольку для восстановления видового состава фитоценоза потребуется больший временной период.

В ботаническом составе пастбищных фитоценозов под нагрузкой природных (аридизация климата) и антропогенных (перевыпас) факторов произошли смены доминантов и субдоминантов, в т.ч. многолетние высокопитательные и хорошо поедаемые мятликовые травы (житняки, пырей, вейник, ковыли, костры, типчак), амарантовые и астровые полукустарнички (изень, полынь) заменялись однолетними бурьянистыми сорными, ядовитыми и вредными травами (клоповники, молочаи, анабазис, якорцы, крестовник), что привело к смене растительных ассоциаций на всех участках по районам. Наиболее устойчивыми к аридизации и выпасу были признаны кустарниковые ассоциации, в т.ч. джугуновы (хорошо поедаемый) и тамариковые (удовлетворительно поедаемые), которые на протяжении 46 лет не уменьшили свое участие в фитоценозах и сохранили доминирование.

Обсуждение. Гидротермические условия территории, а именно соотношение тепла и влаги, являются основным фактором жизни и развития природных экосистем, поэтому для анализа состояния и развития этих экосистем необходима оценка за длительный временной период. Определение гидротермических условий территории Астраханской области за 46 лет было выполнено на основе четырех наиболее признанных в климатологии количественных показателей климата, в т.ч. ГТК Селянинова Г. Т., коэффициента увлажнения Высоцкого-Иванова, метода Кёппена и схемой Холдриджа. Результаты показали, что гидротермические условия региона соответствовали пустынным и полупустынным природным зонам в 60 % и степным – в 40 % от общего числа случаев.

В десяти районах из одиннадцати линия тренда многолетних данных фактической нагрузки животных на пастбища показала тенденцию к росту. Только в Харабалинском районе эта линия была нисходящей, что говорит о тенденции к снижению животноводческой нагрузки со временем.

Заключение. Оценка метеорологических данных за 46 лет показала, что на территории Астраханской области происходит реальное изменение климата, направленное на аридное потепление. Увеличение пастбищной нагрузки приводило к снижению продуктивности пастбищ, а снижение – к увеличению биологической урожайности. При этом питательность пастбищного корма, в связи со сменой видового состава, имеет неизменную тенденцию к снижению.

Conclusions. An assessment of meteorological data for 46 years showed that a real climate change is taking place in the Astrakhan region, aimed at arid warming. An increase in pasture load led to a decrease in pasture productivity, and a decrease led to an increase in biological yield. At the same time, the nutritional value of pasture feed, due to a change in species composition, has an invariable tendency to decrease.

Библиографический список

1. Залибеков З. Г. Аридные земли мира и их динамика в условиях современного климатического потепления. Аридные экосистемы. 2011. № 1 (46). С. 5-13.
2. Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство): Национальный доклад. М., 2019. Т. 2. 476 с.
3. Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем. Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 3 (60). С. 14-32.
4. Seneviratne S. I., Zhang X. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Weather and climate extreme events in a changing climate. Cambridge University Press, 2023. Pp. 1513-1766.
5. Balbus J. A., Crimmins J. L., Gamble D. R., et al. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A scientific assessment. U. S. Global Change Research Program. Introduction: Climate change and human health. Washington, 2016. Ch. 1. Pp. 25-42.
6. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Последствия пыльных бурь на юге европейской части России в сентябре – октябре 2020 г. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7. С. 270-275.
7. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферев В. Г. Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области. Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. № 4. С. 91-98.
8. Кониева Г. Н., Иванова В. И., Адучиева М. Г. Анализ изменений основных климатических показателей на территории Республики Калмыкия за многолетний период. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2023. № 2 (70). С. 177-184.

9. Шумова Н. А. Анализ климатических условий в Республике Калмыкия за 1966–2017 гг. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 3 (84). С. 23–29.
10. Кулик К. Н. и др. Геоинформационный анализ опустынивания Северо- Западного Прикаспия. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 16–24.
11. Насиев Б. Н. и др. Оценка способов использования пастбищ полупустынной зоны Западного Казахстана. Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 20–26.
12. Шевченко В. А., Дедова Э. Б., Исаева С. Д. Комплексные мелиорации в борьбе с опустыниванием и деградацией земель. Научно-агрономический журнал. 2023. № 4 (123). С. 22–29.
13. Цаган-Манджиев Н. Л., Тютюма Н. В. Некоторые итоги реализации программ по борьбе с опустыниванием территории Черных земель и Кизлярских пастбищ. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 92–95.
14. Дедова Э. Б., Гольдварг Б. А., Цаган-Манджиев Н. Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 63–71.
15. Кулик К. Н. и др. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ». Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 1 (74). С. 5–12.
16. Тютюма Н. В., Булахтина Г. К., Тютюма Н. А. Антропогенный фактор опустынивания аридных территорий Астраханской области. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 53–58.
17. Шумова Н. А. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия. Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 4 (89). С. 13–24.

References

1. Arid lands of the world and their dynamics in the conditions of modern climatic warming. Arid ecosystems. 2011. № 1 (46). Pp. 5–13.
2. Global Climate and Soil Cover of Russia: Desertification and Land Degradation, Institutional, Infrastructural, Technological Adaptation Measures (Agriculture and Forestry): National Report. Moscow, 2019. V. 2. 476 p.
3. Kuzmina Zh. V., Treshkin S. E. Climatic Changes in the Lower Volga Basin and Their Impact on the State of Ecosystems. Arid ecosystems. 2014. V. 20. № 3 (60). Pp. 14–32.
4. Seneviratne S. I., Zhang X. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Weather and climate extreme events in a changing climate. Cambridge University Press, 2023. Pp. 1513–1766.
5. Balbus J. A., Crimmins J. L., Gamble D. R., et al. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A scientific assessment. U. S. Global Change Research Program. Introduction: Climate change and human health. Washington, 2016. Ch. 1. Pp. 25–42.
6. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September – October 2020. 2020. № 7. Pp. 270–275.
7. Kulik K. N., Ruliev A. S., Yuferev V. G. Geoinformation analysis of desertification centers in the territory of the Astrakhan region. Arid ecosystems. 2013. V. 19. № 4. Pp. 91–98.
8. Konieva G. N., Ivanova V. I., Aduchieva M. G. Analysis of changes in the main climatic indicators on the territory of the Republic of Kalmykia for a multi-year period. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex. 2023. № 2 (70). Pp. 177–184.
9. Shumova N. A. Analysis of climatic conditions in the Republic of Kalmykia for 1966–2017. Arid ecosystems. 2020. V. 26. № 3 (84). Pp. 23–29.
10. Kulik K. N., et al. Geoinformational analyses desertification of the North-Western Caspian region. Arid ecosystems. 2020. V. 26. № 2 (83). Pp. 16–24.
11. Nasyev B. N. et al. Assessment of the methods of using pastures of the semi-desert zone of Western Kazakhstan. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. № 11 (214). Pp. 20–26.
12. Shevchenko V. A., Dedova E. B., Isaeva S. D. Complex land reclamation in the fight against desertification and land degradation. Scientific and Agronomic Journal. 2023. № 4 (123). Pp. 22–29.
13. Tsagan-Mandzhiev N. L., Tyutyuma N. V. Some results of the implementation of programs to combat desertification of the territory of the Black Lands and Kizlyar pastures. Arid ecosystems. 2023. V. 29. № 1 (94). Pp. 92–95.
14. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L. Degradation of the lands of the Republic of Kalmykia: problems and ways of their restoration. Arid ecosystems. 2020. V. 26. № 2 (83). Pp. 63–71.
15. Kulik K. N. et al. General Scheme to Combat Desertification of the Black Lands and Kizlyar Pastures. Arid ecosystems. 2018. V. 24. № 1 (74). Pp. 5–12.
16. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Tyutyuma N. A. Anthropogenic factor of desertification of arid territories of the Astrakhan region. Arid ecosystems. 2023. V. 29. № 1 (94). Pp. 53–58.
17. Shumova N. A. Quantitative indicators of climate in the application to the assessment of hydrothermal conditions in the Republic of Kalmykia. Arid ecosystems. 2021. V. 27. № 4 (89). Pp. 13–24.

Информация об авторах

Тютюма Наталья Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), ORCID -0000-0001-6582-2628, e-mail: pniiiaz@mail.ru

Булахтина Галина Константиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая отделом, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), ORCID -0000-0001-8949-8666, e-mail: gbulahnt@mail.ru

Authors' Information

Tyutyuma Natalya Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian academy of sciences, Director, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, Solenoye Zaimishche, Severny block, 8), ORCID -0000-0001-6582-2628, e-mail: pniiiaz@mail.ru

Bulakhtina Galina Konstantinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, Solenoye Zaimishche, Severny block, 8), ORCID -0000-0001-8949-8666; SPIN code 4070-8492, e-mail: gbulahnt@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-02

**THE INFLUENCE OF THE PROTECTIVE FOREST BELTS ON THE SOIL MOISTURE
AVAILABILITY AND WINTER WHEAT YIELD STRUCTURE IN THE SUBZONE OF DARK
CHESTNUT SOILS OF VOLGOGRAD REGION****Belyakov A. M., Shatrovskaya M. O., Sytin G. O.***Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: marr1910@mail.ru

Received 11.03.2025

Submitted 17.04.2025

The research was carried out within the framework of the project FNFE-2025-0003 "Formation and functioning of adaptive agroforestry complexes in the south of Russia under conditions of climate change using digital technologies".

Summary

The article studies the influence of protective forest fringes on soil moisture availability, growth and development and productivity of winter wheat. Deflation processes in the dry hill zone of Volgograd region are considered.

Abstract

Introduction. At present, there have been significant changes in breeding, crops in crop rotations, agro-technologies, modernization of technical means and climatic deviations in precipitation, temperatures and other natural phenomena. There is a need to obtain modern research data on the ameliorative impact of forest strips (FS) on the growth and development of crops, in particular winter wheat as the main crop of the steppe and dry-steppe zone. **Object.** The studies were conducted in the land use of Serafimovich and Kletsky districts of Volgograd region. **Materials and methods.** The research was conducted from 2018 to 2022 in the dry steppe on chestnut soils within the Volgograd region. The purpose of the research was to study the effect of LP on the productivity of winter wheat crops and the ability of LP to protect the soil from the action of deflation. The methods of field experiments of Konstantinov P. N., Goryansky M. M., Dospekhov P. P., Gossortseti and VNIALMI developments. Soil moisture was determined layer by layer through 0.1 m in a layer of 1 m in 4-fold repetition by thermostat-weight method (GOST 28268-89). Yield structure was analyzed by sheaf sampling, and yield was recorded by combine threshing of record plots. **Results and conclusions.** It has been established that field protective forest belts have a positive effect on improving soil moisture availability in winter wheat crops during the entire period of growth and development of the crop and by the end of the growing season allow to retain up to 11.0-13.8 mm of productive moisture, which provides yield growth of the current crop, in this case winter wheat, quality tillage and formation of yield of the subsequent crop. Deposits of soil removal in forest belts after the manifestation of deflation 2019 by classical technology reached 0.23-0.46 m and 0.09-0.26 m by direct seeding technology. It should be noted that the maximum values of sedimentation were observed on variants of southeastern winds, which exceeded by more than 2 times other directions of wind load. Yield increase under the influence of protective forest belt on the variants of the prevailing winds direction amounted to 0.94 t/ha, and depending on the distance of crops to the forest belt 1.02 t/ha when using classical technology and 0.84 and 0.90 t/ha, respectively, on direct seeding technology.

Keywords: soil moisture, forest belts, structure of winter wheat yield, winter wheat cultivation technologies.

Citation. Belyakov A. M., Shatrovskaya M. O., Sytin G. O. The influence of the protective forest belts on the soil moisture availability and winter wheat yield structure in the subzone of dark chestnut soils of Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 22-29 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-02.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.5:630*915

**ВЛИЯНИЕ ПЗЛН НА ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОЧВЫ И СТРУКТУРУ УРОЖАЯ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ПОДЗОНЕ ТЕМНО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ
ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ****Беляков А. М., доктор сельскохозяйственных наук****Шатровская М. О., младший научный сотрудник****Сытин Г. О., младший научный сотрудник***ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Исследования проведены в рамках выполнения проекта FNFE-2025-0003 «Формирование и функционирование адаптивных агролесомелиоративных комплексов юга России в условиях климатических изменений с использованием цифровых технологий».

Актуальность. В настоящее время произошли существенные изменения в селекции, комплектации культур в севооборотах, агротехнологиях, модернизации технических средств и климатических отклонениях по осадкам, температурам, другим природным явлениям. Возникает необходи-

мость получения современных исследовательских данных о мелиоративном воздействии лесных полос (ЛП) на рост и развитие культур, в частности озимой пшеницы, как основной культуры степной и сухостепной зоны. **Объект.** Исследования проводили в землепользованиях Серафимовичского и Клетского районов Волгоградской области. **Материалы и методы.** Исследования проводились с 2018 по 2022 год в сухой степи на каштановых почвах в пределах Волгоградской области. Цель исследований заключалась в изучении влияния ЛП на продуктивность посевов озимой пшеницы и способность ЛП защищать почву от действия дефляции. При исследовании использовались методики полевых опытов Константинова П. Н., Горянского М. М., Доспехова П. П., Госсортсети и разработки ВНИАЛМИ. Влажность почвы определялась послойно через 0,1 м в слое 1 м в 4-кратной повторности термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89). Анализ структуры урожая производили методом отбора снопов, учет урожая – методом обмолота комбайном учетных делянок. **Результаты и выводы.** Установлено, что лесные полосы положительно влияют на улучшение влагообеспеченности почвы в посевах озимой пшеницы в течение всего периода роста и развития культуры и к концу вегетационного периода позволяют сохранить до 11,0-13,8 мм продуктивной влаги, которая обеспечивает прирост урожая текущий культуры, в данном случае озимой пшеницы, проведение качественной обработки почвы и формирование урожая последующей культуры. Отложения выноса почвы в лесополосах АО «Усть-Медведицкое» после проявления дефляции 2019 года по классической технологии достигали 0,23-0,46 м и 0,09-0,26 м по технологии прямого посева. Следует отметить, что максимальные значения отложений наблюдались на вариантах юго-восточных ветров, которые превосходили в 2 с лишним раза другие направления ветровой нагрузки. Прирост урожая под влиянием защитной лесополосы на вариантах направления господствующих ветров составил 0,94 т/га, а в зависимости от расстояния посевов до лесополосы 1,02 т/га при использовании классической технологии и 0,84 и 0,90 т/га соответственно по технологии прямого посева.

Ключевые слова: влажность почвы, лесные полосы, структура урожая озимой пшеницы, технологии возделывания озимой пшеницы.

Цитирование. Беляков А. М., Шatrovская М. О., Сытин Г. О. Влияние ПЗЛН на влагообеспеченность почвы и структуру урожая озимой пшеницы в подзоне темно-каштановых почв Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 22-29. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-02.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. О позитивном влиянии ЛП на посевы сельскохозяйственных культур опубликовано много исследовательских работ [1, 2, 3], однако в настоящий период произошли существенные изменения в селекции, комплектации культур в севооборотах, агротехнологиях, модернизации технических средств и климатических отклонений по осадкам, температурам, другим природным явлениям [4, 5]. В этой связи возникает необходимость получения современных данных о мелиоративном воздействии лесозащитных насаждений на рост и развитие культур, в частности озимой пшеницы, как основной культуры степной и сухостепной зоны [6, 7, 8].

Материалы и методы. Исследования проводились в зоне темно-каштановых почв сухой степи в пределах Волгоградской области с 2018 по 2022 год. Для выполнения поставленных задач были выделены тестовые участки. Целью исследования стало изучение влияния ЛП на продуктивность посевов озимой пшеницы, также изучалась защитная функция лесных полос, направленная на борьбу с процессами дефляции.

Тесно-каштановые почвы имеют буроватую или коричневатую-темно-серую окраску и пороховато-мелкозернистую структуру. Реакция почв нейтральная в верхнем горизонте и слабощелочная и щелочная ниже по профилю. Гумусовый горизонт темно-каштановых почв в среднем имеет мощность от 15 до 40 см, с содержанием гумуса в глинистых, тяжелосуглинистых и суглинистых почвах до 5 %, в легкосуглинистых и супесчаных до 3 %. В составе обменных оснований преобладают кальций и магний. Валовое содержание элементов питания в темно-каштановых почвах составляет: азота – 0,13-0,16 %; фосфора – 0,1-0,13 %; калия – 2,5-2,8 %.

Для реализации поставленной цели были заложены в СПК «Черенский» и АО «Усть-Медведицкое» два полевых опыта. В первом опыте были изучены защитные свойства ЛП в отношении господствующих ветров и их влияние на продуктивность озимой пшеницы. В этой связи были выбраны защитные лесополосы для наблюдений с разным их направлением по сторонам света. В данном опыте реализованы были три варианта: 1 – лесополоса с защитными свойствами против восточных ветров, то есть в направлении север-юг (N-S); 2 – с защитными свойствами против южных ветров, то есть в направлении запад-восток (W-E); 3 – лесополоса против юго-восточных ветров, то есть в направлении юго-запад-северо-восток (SW-NE).

Во втором опыте было изучено влияние ЛП на продуктивность озимой пшеницы. Продуктивность озимой пшеницы оценивалась в зависимости от расстояния от лесной полосы (5Н, 10Н, 20Н и 30Н) в сравнении с контрольным вариантом без влияния лесополосы.

Исследования были проведены в рамках двух различных агротехнологических подходов: традиционного и прямого посева [9]. Традиционная технология, в данном контексте, предполагает севооборот на основе организации посевов озимой пшеницы после пара. Данная методика характеризуется подготовкой почвы, которая включает в себя вспашку. Обработка почвы под пар была глубокой: на 0,25-0,27 м с оборотом пласта или глубокая без оборота пласта стойкой СИБиМЭ. В свою очередь, прямой посев подразумевает высев семян в некультивируемую почву с минимальным нарушением её структуры.

Первая экспериментальная площадка была заложена в Клетском районе на землепользовании, где данная технология применяется в течение последних десяти лет.

Вторая экспериментальная площадка была заложена на землепользовании в Серафимовичском районе, где технология прямого посева осуществляется в полном объеме с 2012 года. Суть новой технологии заключается в прямом посеве озимой пшеницы по предшественнику (нут) без обработки почвы. Оба хозяйства располагаются на общем природном ландшафте сухостепной зоны, имеют одинаковый рельеф местности и граничат между собой. Уровень применения удобрений составляет 60 кг/га. Густота стояния растений озимой пшеницы, показатели ее роста и развития, элементы структуры урожая определялись по методике Госсортсети 1985 г. Урожайность пшеницы учитывалась методом обмолота снопа с 1 кв.м.

При исследовании использовались методики полевых опытов Константинова П. Н., Горянского М. М., Доспехова П. П., Госсортсети и разработки ВНИАЛМИ.

Пробы почвы для определения влажности отбирали в полевых условиях в 4-х кратной повторности почвенным буром, погружая его послойно на глубину до 1,0 м через каждые 0,1 м по методике полевого опыта Доспехова Б. А. (1985). Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89) в три срока вегетации: ранней весной (РВ) при достижении физической спелости почвы, в фазу конца трубкования (КТр.) и при достижении полной зрелости зерна (ПЗ). В лабораторных условиях сушили при температуре 105 °С до постоянной массы в течение 7 ч, после чего проводили взвешивание. Суммируя показатели влажности почвы, соответствующего слоя всех повторений и разделив сумму на количество определений, нашли среднюю влажность каждого слоя.

Анализ структуры урожая производили методом отбора снопов, учет урожая – методом обмолота комбайном учетных участков.

Дефляционные отложения почвы в лесополосе определяли методом замера глубины мелкозема после проявления пыльной бури 2015 года и раскопок с наветренной и подветренной сторон [10, 11].

Результаты и обсуждение. Важно отметить, что в условиях засушливого земледелия наличие в почве влаги является решающим фактором, влияющим на продуктивность зерновых культур. Запасы влаги оказывают существенное влияние на физиологические процессы в растениях, их рост и развитие. В подобных агроклиматических условиях особую важность приобретает внедрение эффективных агротехнических приемов.

Результаты наблюдений за динамикой влагообеспеченности почвы в посевах озимой пшеницы представлены в таблице (таблица 1). После схода снега ранней весной запасы влаги в почвенном слое 0,0-0,6 м достигают значений 21,4 % от абсолютно сухой почвы или выше показателя непродуктивной влаги, однако в фазу конца трубкования влагообеспеченность почвы резко падает до значений 14,7-14,9 %, но не достигает показателя мертвых запасов. Самые низкие показатели по влажности почвы получены в период полной зрелости зерна – 12,1-13,6 % и достигают значений мертвых запасов. В метровом слое почвы описанные закономерности повторяют данные корнеобитаемого слоя (0,0-0,6 м) только в ранне-весенний период, однако по абсолютным значениям ниже на 5,0-6,1 %. В фазу конца трубкования и полную зрелость в метровом слое почвы влагозапасы несколько выше (на 1,5-33,3), чем в корнеобитаемом слое.

По вариантам опыта просматривается лучшая влагообеспеченность на варианте 10Н и 20Н. В частности, к завершению вегетационного периода количество продуктивной влаги в слоях почвы на глубинах 0,6 м и 1,0 м не превышало 13,8 мм. В то же время на

контроле уровень продуктивной влаги был недостаточным и практически отсутствовал в обоих слоях. Вариант 5Н занимает промежуточное положение. Таким образом, ЛП оказывают благоприятное воздействие на уровень влагообеспеченности почвы в посевах озимой пшеницы. В результате их применения сохраняется до 14 мм продуктивной влаги к завершению вегетационного периода, что значительно способствует увеличению урожайности пшеницы. Это не только влияет на качество урожая самой пшеницы, но и способствует более успешному развитию последующих культур.

Таблица 1 – Изменение влажности почвы в зависимости от расстояния до ЛП, выраженное в % от абсолютно сухой почвы (за 2018-2022 гг.)

Table 1 – Change in soil moisture as a function of distance to the FB, expressed as % of absolutely dry soil (for 2018-2022)

Горизонт, м / Soil layer, m	Вариант опыта по расстоянию от лесной полосы по числу высот / Experiment variant by distance from the forest belt by number of heights											
	Контроль / Control			5Н			10Н			30Н		
	PB / early spring period	КТр / end of tube	ПЗр / full maturity	PB / early spring period	КТр / end of tube	ПЗр / full maturity	PB / early spring period	КТр / end of tube	ПЗр / full maturity	PB / early spring period	КТр / end of tube	ПЗр / full maturity
0,0-0,1	21,9	14,2	12,8	21,7	14,1	13,3	21,4	14,3	14,2	21,7	14,3	13,7
0,1-0,2	22,0	14,6	12,1	21,9	14,2	12,8	21,9	14,6	13,9	22,1	14,7	13,9
0,2-0,3	21,7	14,7	11,8	21,6	14,5	12,9	20,2	14,7	13,8	21,6	14,8	13,7
0,3-0,4	21,4	14,9	11,9	21,5	14,9	12,3	19,7	15,0	13,0	21,4	15,1	13,1
0,4-0,5	20,8	15,0	12,1	20,9	15,1	12,4	19,4	15,1	13,1	20,7	15,1	12,8
0,5-0,6	20,7	15,2	12,0	20,6	15,3	12,1	18,9	15,4	13,3	20,6	15,3	12,9
0,0-0,6	21,4	14,8	12,1	21,4	14,7	12,6	20,3	14,9	13,6	21,4	14,9	13,4
0,6-0,7	18,1	16,0	12,7	18,4	15,8	13,1	17,9	16,2	13,4	18,1	16,1	13,1
0,7-0,8	17,8	16,1	12,6	18,0	16,0	12,7	17,2	15,8	12,8	17,7	16,0	13,0
0,8-0,9	18,3	16,2	12,4	18,4	16,2	12,9	18,1	16,4	13,1	18,4	16,3	12,8
0,9-1,0	18,6	16,1	12,1	18,3	16,3	12,0	18,5	16,1	13,3	18,6	16,1	12,6
0,0-1,0	20,1	15,3	12,3	20,1	15,2	12,7	19,3	15,4	13,4	20,1	15,4	13,2
Примечание: / Note: PB – ранне-весенний период / early spring period, КТр. – конец трубкования / end of tube, ПЗр. – полная зрелость / full maturity, НВ – 20,8 МЗ – 12,6 100Н и 100Н(1-2) или 100 1 1,38												

Полученные данные по классической технологии возделывания озимой пшеницы показали, что густота стояния растений озимой пшеницы после перезимовки составила в опыте № 1 – 1,83-2,08 млн шт./га с преимуществом в 6,1-14,0 % на варианте с защитой ПЗЛН от юго-восточных ветров (таблица 2). Лучшие результаты сохранности растений озимой пшеницы после зимовки – 2,11 млн шт./га, получены в опыте № 2 на варианте 10Н, что составило по отношению к контролю 26,3 %. На остальных вариантах наблюдается снижение показателя числа растений на поле.

Влияние ПЗЛН на посевы озимой пшеницы прослеживаются по ряду показателей роста и развития растений на протяжении всего периода вегетации [12]. Так, продолжительность вегетации озимой пшеницы по вариантам опыта влияния защиты посевов ПЗЛН от ветров по сторонам света отличается незначительно, 169 дней на варианте лесополосы север-юг и 172 дня на варианте защиты посевов лесополосой против юго-восточных ветров. Существенно отличается продолжительность вегетации пшеницы на 5 дней в зависимости от расстояния до лесополосы, где она составляет 174 дней на варианте 10Н и 173 на варианте 20Н, тогда как на контроле и варианте 5Н она составила 169 дней.

Таблица 2 – Показатели влияния ЛП на посевы озимой пшеницы и отложения почвы при дефляции при использовании классической технологии (среднее по СПК «Черенский» за 2018-2022 гг.)
Table 2 – Indicators of the impact of FB on winter wheat crops and soil deposits during deflation when using classical technology (average for SPK «Cherensky» for 2018-2022)

№	Показатели / Indicators	Варианты опыта / Experience options							
		Ориентация по сторонам света (Противодействие ветру) / Orientation to the sides of the world (Against wind)			Расстояние от ЛП, Н / Distance from FB, H				
		Север-юг / N-S	Запад-восток / W-E	юго-запад-северо-восток / SW-NE	Контроль / Control	5Н	10Н	20Н	30Н
1	Густота стояния растений, млн. шт/га / The density of standing plants, million pcs/ha	1,83	1,96	2,08	1,67	1,87	2,11	2,04	1,83
2	Плотность продуктивного стеблестоя, шт./м ² / The density of the productive stem, pcs. / m ²	315	360	369	286	336	382	370	304
3	Число зерен в колосе, шт / The number of spikelets in the ear, pcs.	35	34	35	33	35	36	36	34
4	Масса 1000 зерен, гр / Weight of 1000 grains, g.	37,0	37,9	38,8	35,7	36,3	39,1	39,2	37,4
5	Продолжительность вегетации, в днях / Duration of vegetation, in days	169	170	172	169	170	174	173	171
6	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	2,71	2,88	3,65	2,23	2,72	3,67	3,74	2,80
7	Дефляционные отложения почвы в ПЗЛН, м / Diffusional soil deposits in the FFP, m	0,34	0,23	0,46	-	-	-	-	-

Плотность продуктивного стеблестоя под защитой лесополосы в направлении SE-NW возрастает и составляет 369 шт./м² против юго-восточных ветров, тогда как в направлении N-S плотность составила всего 315 шт./м². Число зерен в колосе и масса 1000 зерен также выше на 4,8-7,8 % на вариантах 10Н и в направлении защитной лесополосы от юго-восточных ветров по отношению к контролю. Плотность продуктивного стеблестоя, озерненность колоса и выполненность зерна определили уровень урожайности культуры, которая составила 2,71-3,65 т/га в зависимости от ЛП, защищающих от господствующих ветров. Лучшим результатом стал вариант с ЛП (SE-NW), где урожайность варьировала от 2,72 до 3,74 т/га, в зависимости от расстояния посевов от лесополосы. Лучший результат отмечается на варианте 20Н.

Показатели на варианте технологии прямого посева имеют соответствующие закономерности влияния ПЗЛН на рост и развитие озимой пшеницы, как и по классике, однако отличие имеется по снижению абсолютных значений по плотности продуктивного стеблестоя на 19-26 %, по продуктивности различия составили 22,9-33,0 % (таблица 3).

После пыльных бурь 2019 года дефляционные отложения почвы в ПЗЛН АО «Усть-Медведицкое» составили: 0,34 м для лесных полос в направлении N-S, 0,23 м для лесных полос в направлении W-E, 0,46 м для лесных полос в направлении SW-NE. Таким образом, по классической технологии посева дефляционные отложения достигали 0,46 м, в то время как по технологии прямого посева только 0,26 м.

Таким образом, прирост урожая под влиянием защитной лесополосы на вариантах направления господствующих ветров составил 0,94 т/га, а в зависимости от расстояния посевов до лесополосы 1,02 т/га при использовании классической технологии, а по технологии прямого посева 0,84 и 0,90 т/га соответственно.

Таблица 3 – Показатели влияния ПЗЛН на посевы озимой пшеницы и отложения почвы при дефляции при использовании технологии прямого посева (среднее по АО «Усть-Медведицкое» за 2018-2022 гг.)

Table 3 – Indicators of the impact of FPFP on winter wheat crops and soil deposits during deflation when using direct seeding technology (average for Ust-Medveditskoye JSC for 2018-2022)

№	Показатели / Indicators	Варианты опыта / Experience options							
		Ориентация по сторонам света (Противодействие ветру) / Orientation to the sides of the world (Against wind)			Расстояние от ЛП, в Н / Distance from FB, H				
		Север-юг / N-S	Запад-восток / W-E	юго-запад-северо-восток / SE-NW	Контроль / Control	5Н	10Н	20Н	30Н
1	Густота стояния растений, млн. шт./га / The density of standing plants, million pcs/ha	1,80	1,85	1,96	1,61	1,67	2,00	1,94	1,73
2	Плотность продуктивного стебля, шт./м. кв / The density of the productive stem, pcs. / m ²	210	220	273	181	215	285	288	222
3	Число зерен в колосе, шт / The number of spikelets in the ear, pcs.	32	32	33	33	32	33	33	32
4	Масса 1000 зерен, гр. / Weight of 100 grains, g.	35,0	35,9	36,4	35,0	35,0	36,1	36,2	35,4
5	Продолжительность вегетации, в днях / Duration of vegetation, in days	169	169	171	166	167	170	168	167
6	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	1,81	1,98	2,65	1,43	1,72	2,57	2,62	1,89

Отложения выноса почвы в лесополосах после проявления дефляции 2019 года по классической технологии достигали 0,23-0,46 м и 0,09-0,26 м по технологии прямого посева. Следует отметить, что максимальные значения отложений наблюдалось на вариантах юго-восточных ветров, которые превосходили в 2 с лишнем раза другие направления ветровой нагрузки.

Заключение. Таким образом, ЛП положительно влияют на улучшение влагообеспеченности почвы в посевах озимой пшеницы в течение всего периода роста и развития культуры и к концу вегетационного периода позволяют сохранить до 11,0-13,8 мм продуктивной влаги, которая обеспечивает прирост урожая текущей культуры, в данном случае озимой пшеницы, проведение качественной обработки почвы и формирование урожая последующей культуры.

Прирост урожая под влиянием защитной лесополосы на вариантах направления господствующих ветров составил 0,94 т/га, а в зависимости от расстояния посевов до лесополосы 1,02 т/га при использовании классической технологии и 0,84 и 0,90 т/га соответственно. по технологии прямого посева.

Conclusions. Thus, protective forest belts have a positive effect on improving soil moisture availability in winter wheat crops during the entire period of growth and development of the crop and by the end of the growing season allow to retain up to 11.0-13.8 mm of productive moisture, which provides yield growth of the current crop, in this case winter wheat, quality tillage and formation of yield of the subsequent crop.

Yield increase under the influence of protective forest belt on the variants of the direction of prevailing winds amounted to 0.94 t/ha, and depending on the distance of crops to the forest belt 1.02 t/ha when using classical technology and 0.84 and 0.90 t/ha, respectively, on direct seeding technology.

Библиографический список

1. Кулик К. Н., Иванов А. Л., Рулев А. С. и др. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации до 2025 года. Федеральный научный центр агроэкологии Российской академии наук. Волгоград, 2018. 36 с.
2. Кулик К. Н. Защитные лесные насаждения - основа экологического каркаса агротерриторий. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 1. С. 18-21.
3. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Влияние защитных лесных полос на урожайность сельскохозяйственных культур. Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сб. ст. по материалам Междунар. науч.-экол. конф. Краснодар, 2018. С. 504-507.
4. Беляков А. М. Погода и урожай за 60 лет: статистика и анализ погоды и урожаев по Волгоградской области. Волгоград: Принт, 2019. 88 с.
5. Пугачёва А. М., Беляев А. И., Трубакова К. Ю., Ромадина О. Д. Региональные изменения климата в сухих степях и их связь с засухами. Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. № 4 (93). С. 13-21.
6. Сарычев А. Н. Эффективность полезащитных насаждений и технологий обработки почвы в сухостепной зоне Волгоградской области. Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2018. Т. 4. № 2 (14). С. 55-63.
7. Potashkina Y. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. Forests. 2022. V. 13 (11). P. 1892.
8. Koshelev A. V., Vedeneeva V. A., Potashkina Yu. N., Shatrovskaya M. O. Ecological Capacity and Bioenergy Potential of Agrocenoses as a Way of Sustainable Agriculture. Indian Journal of Agricultural Research. 2024. Pp. 1-8.
9. Беляков А. М., Назарова М. В. Структура посева как фактор экологической сбалансированности агроландшафтов засушливой зоны юга России. Научно-агрономический журнал. 2020. № 3 (110). С. 31-37.
10. Беляков А. М., Васильев Ю. И., Турко С. Ю., Назарова М. В. Пыльные бури в Волгоградской области, их проявление и борьба с ними. Нива Поволжья. 2019. № 2 (51). С. 2-8.
11. Кулик К. Н., Правилон А. С., Сажин А. Н. Глобальные процессы дефляции степных экосистем. Метеорология и гидрология. 2018. № 43 (9). С. 607-612.
12. Kiryushin V. I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agrocenoses in Adaptive-Landscape Farming Systems. Eurasian Soil Science. 2019. No 52 (9). Pp. 1137-1145.

References

1. Kulik K. N., Ivanov A. L., Rulev A. S., et al. Strategy of development of protective afforestation in the Russian Federation until 2025. Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. Volgograd. 2018. 36 p.
2. Kulik K. N. Protective forest plantations - the basis of the ecological framework of agroterritories. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2018. № 1. Pp. 18-21.
3. Poluektov E. V., Balakai G. T. Influence of protective forest strips on crop yields. Ecological problems of agrarian landscapes development and ways to improve their productivity: a collection of articles on the materials of the International scientific and ecological conference Krasnodar, 2018. Pp. 504-507.
4. Belyakov A. M. Weather and Harvest for 60 Years: Statistics and Analysis of Weather and Harvests in Volgograd Oblast. Volgograd: Print, 2019. 88 p.
5. Pugacheva A. M., Belyaev A. I., Trubakova K. Yu., Romadina O. D. Regional climate changes in dry steppes and their relationship to droughts. Arid Ecosystems. 2022. V. 28. № 4 (93). Pp. 13-21.
6. Sarychev A. N. Efficiency of field protective plantations and soil treatment technologies in the dry-steppe zone of Volgograd region. Bulletin of Mari State University. Series: Agricultural sciences. Economic sciences. 2018. V. 4. № 2 (14). Pp. 55-63.
7. Potashkina Y. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. Forests. 2022. V. 13 (11). P. 1892.
8. Koshelev A. V., Vedeneeva V. A., Potashkina Yu. N., Shatrovskaya M. O. Ecological Capacity and Bioenergy Potential of Agrocenoses as a Way of Sustainable Agriculture. Indian Journal of Agricultural Research. 2024. Pp. 1-8.
9. Belyakov A. M., Nazarova M. V. Sowing structure as a factor of ecological balance of agrolandscapes of the arid zone of southern Russia. Scientific and Agronomic Journal. 2020. № 3 (110). Pp. 31-37.
10. Belyakov A. M., Vasiliev Y. I., Turko S. Y., Nazarova M. V. Dust storms in the Volgograd region, their manifestation and control. Niva Povolzh'ye. 2019. № 2 (51). Pp. 2-8.
11. Kulik K. N., Pravilov A. S., Sazhin A. N. Global deflation processes of steppe ecosystems // Meteorology and Hydrology. 2018. № 43 (9). Pp. 607-612.
12. Kiryushin V. I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agrocenoses in Adaptive-Landscape Farming Systems. Eurasian Soil Science. 2019. No 52 (9). Pp. 1137-1145.

Информация об авторах

Беляков Александр Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-9541-8383 e-mail: dokbam49@mail.ru

Шатровская Мария Олеговна, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID 0000-0002-3202-4184, e-mail: shatrovskayam@vfanc.ru

Сытин Геннадий Олегович, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID 0000-0001-6005-8413 e-mail: sytin-g@vfanc.ru

Authors' Information

Belyakov Aleksander Mikhailovich, Candidate of Agricultural Sciences, Chief Scientific Associate, Head of the Laboratory, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0002-9541-8383, e-mail: dokbam49@mail.ru

Shatrovskaya Maria Olegovna, graduate student, junior researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID 0000-0002-3202-4184, e-mail: shatrovskayam@vfanc.ru

Sytin Gennady Olegovich, junior researcher at the Laboratory, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID 0000-0001-6005-8413 e-mail: sytin-g@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-03

BREEDING CONTRIBUTION TO INCREASING THE YIELD AND ADAPTABILITY OF SPRING WHEAT IN THE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION^{1,2}**Zelenev A. V.**, ³**Markova I. N.**, ³**Pitonya V. N.**, ³**Smutnev P. A.**

¹*Federal Research Center «Nemchinovka»
Moscow, Russian Federation*

²*Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
Moscow, Russian Federation*

³*Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: zelenev.a@bk.ru

Received 15.03.2025

Submitted 17.04.2025

Summary

This work studies the best zoned and new local, high-yielding and adapted breeding varieties of spring soft wheat in a demonstration nursery. The results of the correlation between crop yield and hydrothermal coefficients are presented.

Abstract

Introduction. The basis of grain production is new promising varieties of agricultural crops. The potential for improvement through selection is still very great. **Materials and methods.** In the demonstration nursery, 29 selected and untested zonal varieties, the most adapted and productive for the Lower Volga region, as well as 6 new best local and zoned varieties of spring soft wheat were studied. The preceding crop for spring wheat was pure fallow. The preparation of the soil for sowing, as well as all the methods of crop cultivation technology, were carried out within the optimal agrotechnical timeframes in accordance with the generally accepted standards in the region. The soil is chestnut. **Results and conclusions.** The variety with the highest yield was Ershovskaya 36 – 1.8 t/ha. The second place in this indicator was occupied by the Favorit variety – 1.59 t/ha, and the third place was occupied by the local Furor variety, which underwent State Variety Testing in 2019-2021, with a result of 1.53 t/ha. The highest yield of spring wheat in 2022 (1.92 t/ha) was formed as a result of not the highest hydrothermal coefficient during the growing season (0.6). With the same hydrothermal coefficient in 2024, a lower crop yield was formed – 1.21 t/ha. The highest hydrothermal coefficient in 2021 (1.4) did not provide the highest yield of spring wheat – 1.61 t/ha. The correlation between the hydrothermal coefficient and productivity was average $r=0.37$. This means that the yield of varieties of this agricultural crop was influenced not only by weather factors but also by their varietal characteristics. The highest yield of spring wheat was formed by the best new varieties of local selection 13/6 (Ulyanovskaya 100 x Favorit) – 1.74 t/ha, 13/9 (Ulyanovskaya 100 x Favorit) – 1.67 t/ha and 13/10 (Ulyanovskaya 100 x Favorit) – 1.66 t/ha, as well as the best zoned variety Ershovskaya 36 – 1.95 t/ha. The new variety 13/6 (Ulyanovskaya 100 x Favorit) was named Stalingradskaya and was submitted for State variety testing in 2025.

Keywords: spring soft wheat, wheat breeding, wheat hybridization, spring soft wheat varieties, spring soft wheat yield, spring soft wheat adaptability.

Citation. Zelenev A. V., Markova I. N., Pitonya V. N., Smutnev P. A. Breeding contribution to increasing the yield and adaptability of spring wheat in the conditions of the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 29-37 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-03.

Author's contribution. All authors were directly involved in the planning, execution or analysis of the study, and also reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.524.84:631.524.85:633.111.1(470.44/47)

**СЕЛЕКЦИОННЫЙ ВКЛАД В ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И АДАПТИВНОСТИ
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**^{1,2}Зеленев А. В., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, профессор³Маркова И. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, старший агроном-селекционер³Питоня В. Н., старший агроном-селекционер³Смутнев П. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий агроном-селекционер¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

г. Москва, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

г. Москва, Российская Федерация

³ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения РАН»

г. Волгоград, Российская Федерация

Введение. Основу зернового производства составляют новые перспективные сорта сельскохозяйственных культур. Потенциал усовершенствования посредством селекции все еще очень велик. **Материалы и методы.** В питомнике демонстрационном исследовано 29 селекционных и неиспытанных зональных самых приспособленных и урожайных для Нижнего Поволжья, а также по 6 новых лучших местных и районированных сортов пшеницы яровой мягкой. Предшествующей культурой для пшеницы яровой выступал пар чистый. Подготовка почвы к посеву, а также все приемы технологии возделывания культуры проводились в оптимальные агротехнические сроки в соответствии с общепринятыми в регионе нормами. Почва – каштановая. **Результаты и обсуждение.** Самым лучшим по урожайности отмечался сорт Ершовская 36 – 1,8 т/га. Второе место по этому показателю занимал сорт Фаворит – 1,59 т/га и третье – местный сорт Фурор, который проходил Госсортиспытание в 2019-2021 годах, с результатом 1,53 т/га. Наибольшая урожайность пшеницы яровой в 2022 году (1,92 т/га) формировалась в результате не самого высокого гидротермического коэффициента за вегетационный период (0,6). При таком же гидротермическом коэффициенте в 2024 году формировалась уже более низкая урожайность культуры – 1,21 т/га. Самый высокий гидротермический коэффициент в 2021 году (1,4) не обеспечивал наибольшую урожайность пшеницы яровой – 1,61 т/га. Корреляционная связь между гидротермическим коэффициентом и урожайностью была средней $r=0,37$. Это означает, что на величину урожайности сортов данной агрокультуры влияли кроме погодных факторов еще и их сортовые особенности. Наибольшая урожайность пшеницы яровой формировалась у лучших новых сортов местной селекции 13/6 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,74 т/га, 13/9 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,67 т/га и 13/10 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,66 т/га, а также у лучшего районированного сорта Ершовская 36 – 1,95 т/га. Новый сорт 13/6 (Ульяновская 100 х Фаворит) получил название Сталинградская и в 2025 году передан на Государственное сортоиспытание.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, селекция пшеницы, гибридизация пшеницы, сорта яровой мягкой пшеницы, урожайность яровой мягкой пшеницы, адаптивность яровой мягкой пшеницы.

Цитирование. Зеленев А. В., Маркова И. Н., Питоня В. Н., Смутнев П. А. Селекционный вклад в повышение урожайности и адаптивности яровой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 29-37. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-03.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Основу любого зернового производства составляют новые перспективные сорта сельскохозяйственных культур. Сорт является мощной производительной силой в растениеводстве, обеспечивая до 50 % прибавки урожайности. В последние десятилетия к вновь создаваемым сортам предъявляются требования: высокая и стабильная урожайность, устойчивость к неблагоприятным условиям выращивания, комплексная устойчивость к вредным объектам, приспособленность к механизированному возделыванию, высокое качество продукции [1-4].

В современных условиях селекция может выступить локомотивом, выводящим сельское хозяйство из кризиса. Уровень достижения генетических возможностей урожайности и качества зерна новых сортов устанавливает прирост валовых сборов. Площади посева под яровой пшеницей в Волгоградской области в настоящее время стали незначительными – 133,3 тыс. га в 2023 году против 162,2 тыс. га в 2022 году, хотя в 1980-1990 годах они достигали весьма значительных размеров – 200-240 тыс. га. Не исключено, что такой расклад повторится и новые сорта яровой пшеницы окажутся полезными [5-7].

Всякий сорт выбирается с целью культивирования в фиксируемых погодных факторах. Он может не обладать превосходством в одной экологической зоне и быть высокоурожайным в другой. Культурный сорт обязан отвечать современному состоянию земледельческой науки и техническому оснащению агротехники, вдобавок быть селекционированным с учетом определенных требований аграрного сектора [8-12].

Потенциал усовершенствования посредством селекции сельскохозяйственных культур все еще очень велик. В нынешних обстоятельствах это ключевой показатель повышения их урожайности. Без существенных коррективов морфологии растений при помощи селекции, без создания короткостебельных, устойчивых к полеганию сортов яровой пшеницы интенсивного и высокоинтенсивного типов, отзывчивых на внесение высоких доз органических и минеральных удобрений, средств защиты растений, невозможен тот научно-технический успех в сельском хозяйстве, который реализован в данный момент [13-17].

Отбор по признакам при селекционировании различных сортов яровой пшеницы для зональных требований на текущий момент не прекращается. Усовершенствовать сорт пшеницы яровой мягкой Камышинская 3 получилось благодаря направленному индивидуальному отбору, впоследствии он приобрел наименование Зинаида [18-20].

Целью исследований являлось изучение лучших районированных и новых местных, более урожайных и адаптированных к региональным условиям селекционных сортов пшеницы яровой мягкой демонстрационного питомника в условиях сухой степи Нижнего Поволжья.

Материалы и методы. Практическая научная работа проводилась в 2018-2024 гг. на полях Камышинского подразделения лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии РАН», расположенного в правобережной сухостепной зоне Нижнего Поволжья. Почва испытательного поля была собственно каштановой, суглинистой, слабосолонцеватой. Оценка агрохимическая верхнего окультуренного 0-30 см слоя почвы соответственная: гумуса (по Тюрину) содержание – 1,6-1,8 %, азота щелочногидролизующего (по Корнфилду) – 87,3-89,7 мг/кг, фосфора подвижного (по Мачигину) – 23,4-25,8 мг/кг и калия подвижного (по Мачигину) – 342,3-346,9 мг/кг абсолютно-сухой почвы, что соответствовало по гумусу очень низкому значению, азоту – также очень низкому, фосфору – среднему и калию – высокому. pH почвенного раствора равнялась 7,4 (слабощелочная).

В питомнике демонстрационном было исследовано 29 селекционных и неиспытанных зональных самых приспособленных и урожайных для Нижнего Поволжья, а также по 6 новых лучших местных и районированных сортов пшеницы яровой мягкой, каковые и явились объектом изучения.

Сообразно со схемой двупольного полевого агрофитоценоза были развернуты делянки опытные площадью 25 м² в четырех повторностях и систематическим способом. Предшествующей культурой для пшеницы яровой выступал пар чистый.

Подготовка почвы к посеву, а также все приемы технологии возделывания культуры проводились в оптимальные агротехнические сроки в соответствии с общепринятыми в регионе нормами.

Погодные условия Нижней Волги, тем более в весенние месяцы, вообще были непредсказуемыми и демонстрировали весьма значимое воздействие на урожайность исследуемой агрокультуры. Еще стоит подчеркнуть, что, согласно нашим сведениям, порой не каждый раз метеорологические явления конкретного года прямолинейно были сопряжены с образованной продуктивностью сортов.

Все наблюдения и учеты проводили в строгой увязке с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Корреляции между гидротермическими коэффициентами и урожайностью определяли по Б.А. Доспехову с использованием программы Statistica 10.

Результаты и обсуждение. Урожайность считается решающим показателем семенной продуктивности пшеницы яровой мягкой. Внедрение высокоурожайных сортов, приспособленных к условиям развития, является базовой основой передовых агротехнологий их культивирования. Отбор тщательно проанализированного первичного материала преимущественно обязателен ради формирования похожих сортов [21-23].

Прежде чем снова приняться за генетическую работу с пшеницей мягкой яровой, была осуществлена оценка урожайности 29 потенциальных и территориально разделенных по региону сортов, показатели каковой показаны в таблице 1.

Данные таблицы 1 констатируют, что максимальная урожайность пшеницы мягкой яровой из изучаемых лет наблюдалась в 2022 году, в котором наиболее урожайными выступали такие сорта (более 2 т/га), как Ершовская 36 – 2,47 т/га, Машенька и Архат – 2,3 т/га, Тризо – 2,23 т/га, Альбидум 29 – 2,21 т/га, Юго-Восточная 4 и Тамбовчанка – 2,1 т/га, Ульяновская 100 – 2,07 т/га. Менее урожайными сортами (менее 1,0 т/га) выступали Юго-Восточная 2 – 0,95 т/га и Саратовская 68 – 0,99 т/га. Минимальная урожайность яровой мягкой пшеницы сформировалась в 2019 году, в котором особенно продуктивными сортами были Ульяновская 100 – 1,29 т/га, местный Фурор – 1,36 т/га, Воевода – 1,4 т/га, прежний стандарт (с 2009 по 2016 годы) Фаворит – 1,49 т/га и Ершовская 36 – 1,5 т/га. Эскада 97 – 0,63 т/га, Харьковская 26 и Прохоровка – 0,76 т/га были менее урожайными сортами в этом году. Низко урожайной в 2018 году была Тамбовчанка – 0,9 т/га, наиболее – Фаворит – 1,63 т/га и Альбидум 188 – 1,65 т/га. В 2020 году максимальную урожайность формировал сорт Симберцит – 1,71 т/га, минимальную – Маргарита – 0,74 т/га. 2021 год был также одним из наиболее урожайных, в котором наибольшие показатели формировали сорта (более 2 т/га) Саратовская 68 – 2,56 т/га, Альбидум 32 – 2,38 т/га, Саратовская 73 – 2,3 т/га, Ершовская 36 – 2,22 т/га, Фаворит, Саратовская 70 и Воевода – 2,08 т/га и Фурор – 2,02 т/га, наименьшие Архат – 1,19 т/га, Машенька – 1,15 т/га, Эскада 70 – 1,14 т/га, Лебедушка – 1,13 т/га и Тамбовчанка – 1,13 т/га. В 2023 году с наибольшей урожайностью выделились сорта Эскада 70 – 1,34 т/га, Маргарита – 1,32 т/га, Фурор – 1,31 т/га и Ульяновская 100 – 1,29 т/га, наименьшей – Харьковская 26 – 0,81 т/га, Камышинская 3 – 0,8 т/га и Тризо – 0,77 т/га. В 2024 году самыми урожайными были сорта пшеницы яровой мягкой Ершовская 36 – 2,14 т/га и Саратовская 42 – 2,02 т/га, наиболее неурожайными – Лебедушка – 0,85 т/га, Тризо – 0,79 т/га и Юго-Восточная 2 – 0,73 т/га.

Таблица 1 – Урожайность сортов пшеницы яровой мягкой за 2018-2024 годы, т/га

Table 1 – Yield of soft spring wheat varieties for 2018-2024, t/ha

Сорт / Variety	Урожайность / Yield							
	2018 г. / 2018	2019 г. / 2019	2020 г. / 2020	2021 г. / 2021	2022 г. / 2022	2023 г. / 2023	2024 г. / 2024	Средняя / Average
Ершовская 36 / Ershovskaya 36	1,45	1,5	1,58	2,22	2,47	1,25	2,14	1,8
Фаворит / Favorit	1,63	1,49	1,58	2,08	1,93	1,24	1,22	1,59
Фурор / Furor	1,51	1,36	1,42	2,02	1,66	1,31	1,44	1,53
Ульяновская 100 / Ulyanovskaya 100	1,52	1,29	1,51	1,49	2,07	1,29	1,27	1,49
Саратовская 68 / Saratovskaya 68	1,52	1,15	1,65	2,56	0,99	1,19	1,27	1,48
Альбидум 32 / Albidum 32	1,52	0,98	1,54	2,38	1,26	1,25	1,26	1,46
Саратовская 42 / Saratovskaya 42	1,48	1,13	1,35	1,37	1,65	1,17	2,02	1,45
Симберцит / Simbertsite	1,13	1,3	1,71	1,24	1,91	1,27	1,24	1,4
Саратовская 73 / Saratovskaya 73	1,29	1,14	1,52	2,3	1,41	1,11	0,99	1,39
Альбидум 29 / Albidum 29	1,45	0,89	1,06	1,67	2,21	1,05	1,28	1,37
Машенька / Mashenka	1,21	1,09	1,14	1,15	2,3	1,01	1,56	1,35
Альбидум 188 / Albidum 188	1,65	1,04	1,22	1,88	1,21	1,0	0,95	1,28
Архат / Arhat	1,08	1,01	1,18	1,19	2,3	0,97	1,23	1,28
Эскада 97 / Escada 97	1,36	0,63	1,13	1,27	1,79	1,19	1,31	1,24
Саратовская 70 / Saratovskaya 70	1,57	0,89	1,23	2,08	1,08	0,88	0,93	1,24
Зинаида / Zinaida	1,31	1,14	1,2	1,33	1,47	0,9	1,24	1,23
Эскада 70 / Escada 70	1,03	0,95	0,8	1,14	1,95	1,34	1,17	1,2
Юго-Восточная 2 / Yugo Vostochnaya 2	1,25	1,24	1,23	1,87	0,95	1,07	0,73	1,19
Харьковская 26 / Kharkovskaya 26	1,35	0,76	1,02	1,71	1,73	0,81	0,99	1,19
Камышинская 3 / Kamyshinskaya 3	1,26	0,98	1,17	1,33	1,38	0,8	1,2	1,16
Юго-Восточная 4 / Yugo Vostochnaya 4	1,02	0,82	0,88	1,23	2,1	1,05	1,06	1,16
Тризо / Triso	1,22	0,81	0,88	1,32	2,23	0,77	0,79	1,15
Тулайковская Золотистая (St) / Tulaikovskaya Zolotistaya (St)	1,21	0,89	1,17	1,47	1,17	0,96	1,16	1,15
Воевода / Voivode	1,45	1,4	1,3	2,08	1,04	1,13	0,93	1,13
Тамбовчанка / Tambovchanka	0,9	0,92	0,77	1,03	2,1	0,87	1,28	1,12
Прохоровка / Prokhorovka	1,15	0,76	0,98	1,65	1,41	1,15	1,44	1,06
Маргарита / Margarita	1,03	0,92	0,74	1,33	1,97	1,32	1,04	1,06
Лебедушка / Lebedushka	1,25	0,83	0,91	1,13	1,13	0,92	0,85	1,0
НСП ₀₅ / SSD ₀₅	0,04	0,08	0,07	1,01	0,05	0,09	0,07	0,06

Самым лучшим в среднем за семь лет испытаний по урожайности отмечался сорт Ершовская 36 – 1,8 т/га, с прибавкой относительно стандарта Тулайковская Золотистая 0,65 т/га. Второе место по этому показателю занимал сорт Фаворит (был стандарт с 2009 по 2016 годы) – 1,59 т/га и третье – местный сорт Фурор, который проходил Госсортиспытание в 2019-2021 годах, с результатом 1,53 т/га. Прибавка в урожайности, соответственно, составляла по сравнению со стандартом (1,15 т/га) – 0,44 и 0,38 т/га. Также высокую урожайность формировали сорта Ульяновская 100 – 1,49 т/га, Саратовская 68 – 1,48 т/га и Альбидум 32 – 1,46 т/га с прибавкой относительно стандарта 0,31-0,34 т/га. Сорт стандарт Тулайковская Золотистая (с 2017 по 2024 годы) оказался на 24 месте по урожайности с результатом 1,15 т/га, местные сорта Камышинская 3 и Зинаида, соответственно на 21 и 17 местах с результатом по урожайности 1,16 и 1,23 т/га. Что касается сорта Зинаида, то он проходил Госсортиспытание в 2015-2017 годах, это указывает на возрастающий селекционный вклад в продуктивность вновь создаваемых сортов пшеницы яровой мягкой в Нижнем Поволжье. Ниже стандарта формировали урожайность сорта Прохоровка, Маргарита с показателем 1,06 т/га и Лебедушка – 1,0 т/га.

Исследование показало, что гидротермические коэффициенты, полученные в результате семилетних исследований, не всегда соответствовали получению надлежащей урожайности пшеницы яровой мягкой (таблица 2).

Из данных таблицы 2 видно, что наибольшая средняя урожайность сортов пшеницы яровой мягкой в 2022 году (1,92 т/га) формировалась в результате не самого высокого гидротермического коэффициента за вегетационный период этой культуры (0,6). При таком же гидротермическом коэффициенте в 2024 году формировалась уже более низкая урожайность культуры – 1,21 т/га.

Таблица 2 – Взаимосвязь гидротермических коэффициентов за период вегетации пшеницы яровой с ее урожайностью

Table 2 – The relationship between hydrothermal coefficients during the growing season of spring wheat and its yield

Год / Year	Средняя урожайность сортов за год, т/га / Average yield of varieties per year, t/ha	Гидротермический коэффициент за вегетационный период / Hydrothermal coefficient for the growing season
2018	1,31	0,1
2019	1,05	0,5
2020	1,21	0,8
2021	1,61	1,4
2022	1,92	0,6
2023	1,08	0,4
2024	1,21	0,6

Самый высокий гидротермический коэффициент в 2021 году (1,4) не обеспечивал наибольшую урожайность пшеницы яровой – 1,61 т/га. Более высокий гидротермический коэффициент в 2020 году (0,8) способствовал формированию урожайности данной культуры на уровне 2024 года – 1,21 т/га. При коэффициенте 0,5 в 2019 году обеспечивалась урожайность культуры на уровне 1,05 т/га, при 0,4 в 2023 году – 1,08 т/га. При самом низком гидротермическом коэффициенте в 2018 году (0,1) формировалась не самая низкая урожайность сортов пшеницы яровой – 1,31 т/га. В 2021 году гидротермический коэффициент (1,4) характеризовал вегетационный период как влажный, в 2020 году (0,8) – как засушливый, в 2022 и 2024 годах (0,6), в 2019 году (0,5) и в 2023 году (0,4) – как очень засушливый и в 2018 году (0,1) – как сухой. Следует отметить, что корреляционная связь между гидротермическим коэффициентом и урожайностью была средней $r=0,37$. Это означает, что на величину урожайности сортов данной агрокультуры влияли кроме погодных факторов еще и их сортовые особенности.

Необходимо также подчеркнуть, что новые сортообразцы пшеницы яровой мягкой местной селекции (таблица 3) в среднем по урожайности не уступали лучшим районированным для Нижнего Поволжья сортам (таблица 4).

Таблица 3 – Урожайность лучших новых сортов пшеницы яровой мягкой местной селекции, т/га
Table 3 – Productivity of the best new varieties of spring soft wheat of local selection, t/ha

Название и родословная сорта / Name and pedigree of the variety	Урожайность / Yield			
	2022 г. / 2022	2023 г. / 2023	2024 г. / 2024	Средняя / Average
13/6 (Ульяновская 100 х Фаворит) / 13/6 (Ulyanovskaya 100 x Favorit)	1,83	1,61	1,69	1,74
13/9 (Ульяновская 100 х Фаворит) / 13/9 (Ulyanovskaya 100 x Favorit)	1,93	1,62	1,45	1,67
13/10 (Ульяновская 100 х Фаворит) / 13/10 (Ulyanovskaya 100 x Favorit)	1,9	1,54	1,55	1,66
13/12 (Ульяновская 100 х Фаворит) / 13/12 (Ulyanovskaya 100 x Favorit)	1,67	1,43	1,42	1,51
03 (Эскада 70 х Ершовская 36) / 03 (Escada 70 x Ershovskaya 36)	2,0	0,91	1,6	1,5
04 (Эскада 70 х Ершовская 36) / 04 (Escada 70 x Ershovskaya 36)	1,97	0,87	1,65	1,5
НСП ₀₅ / SSD ₀₅	0,09	0,08	0,10	0,11

Анализируя данные таблицы 3, можно констатировать, что среди новых лучших сортов пшеницы яровой мягкой местной селекции наибольшая урожайность формировалась в 2022 году. Среди сортов самый высокий показатель обеспечивался у 03 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 2,0 т/га, 04 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 1,97 т/га и 13/9 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,93 т/га, самый низкий – у 13/12 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,67 т/га. Наименьшая урожайность пшеницы яровой формировалась в 2023 году. Среди сортов самый высокий показатель обеспечивался у 13/9 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,62 т/га и 13/6 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,61 т/га, самый низкий – у 03 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 0,91 т/га и 04 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 0,87 т/га. В 2024 году максимальная урожайность обеспечивалась у сортов 13/6 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,69 т/га, 04 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 1,65 т/га и 03 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 1,6 т/га, минимальная – у 13/9 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,45 т/га и 13/12 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,42 т/га. В среднем за 2022-2024 годы эксперимента наибольшая урожайность пшеницы яровой мягкой формировалась у сортов 13/6 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,74 т/га, 13/9 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,67 т/га и 13/10 (Ульяновская 100 х Фаворит) – 1,66 т/га, наименьшая – у 03 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 1,51 т/га, а также у 03 (Эскада 70 х Ершовская 36) и 04 (Эскада 70 х Ершовская 36) – 1,5 т/га.

Таблица 4 – Урожайность лучших районированных сортов пшеницы яровой мягкой, т/га
Table 4 – Productivity of the best zoned varieties of spring soft wheat, t/ha

Название сорта / Name of the variety	Урожайность / Yield			
	2022 г. / 2022	2023 г. / 2023	2024 г. / 2024	Средняя / Average
Гречанка (St) / Grechanka (St)	1,64	1,41	1,39	1,48
Ершовская 36 / Ershovskaya 36	2,47	1,25	2,14	1,95
Ульяновская 100 / Ulyanovskaya 100	2,07	1,29	1,27	1,54
Саратовская 42 / Saratovskaya 42	1,65	1,17	2,02	1,61
Фаворит / Favorit	1,93	1,24	1,22	1,46
Эскада 70 / Эскада 70	1,95	1,31	1,17	1,48
НСП ₀₅ / SSD ₀₅	0,24	0,15	0,20	0,27

Данные таблицы 4 констатируют, что среди лучших районированных сортов пшеницы яровой мягкой самая высокая урожайность была сформирована в 2022 году. Среди сортов наибольший показатель обеспечил Ершовская 36 – 2,47 т/га, наименьший – стандарт Гречанка (с 2021 по 2024 годы) – 1,64 т/га и Саратовская 42 – 1,65 т/га. На 2023 год также приходится наихудшая урожайность пшеницы яровой. Если сравнивать между собой сорта, то наименьший показатель урожайности отмечался у Саратовской 42 – 1,17 т/га, максимальный – у Гречанки (St) – 1,41 т/га и Эскады 70 – 1,31 т/га. В 2024 году максимальную урожайность обеспечили сорта Ершовская 36 – 2,14 т/га и Саратовская 42 – 2,02 т/га, минимальную – Фаворит – 1,22 т/га и Эскада 70 – 1,17 т/га. В среднем за 2022-2024 годы опыта наибольшая урожайность пшеницы яровой мягкой сформировалась у сортов Ершовская 36 – 1,95 т/га, наименьшая – у стандарта Гречанка и Эскада 70 – 1,48 т/га, а также у Фаворита – 1,46 т/га.

Сравнивая средние значения урожайности пшеницы яровой за несколько лет, можно отметить меньшую зависимость ее у местных сортов от погодных факторов: в 2022 году – 1,88 т/га, в 2023 году – 1,33 т/га, в 2024 году – 1,56 т/га, у районированных: в 2022 году – 1,95 т/га, в 2023 году – 1,28 т/га и в 2024 году – 1,53 т/га. Местные сорта оказались более приспособленными к зональным требованиям по климату и почве. Именно Сталинград приобрел наименование новейший сорт 13/6 (Ульяновская 100 х Фаворит), каковой был от- дан на Государственное сортоиспытание в 2025 году.

Закключение. Благодаря многолетним (7 лет) наблюдениям за сортами пшеницы мягкой яровой был составлен рейтинг урожайности. В то же время повысился рейтинг наших сортов Камышинская 3 (21 место), Зинаида (17 место) и Фурор (3 место). Зависимость урожайности от климатических факторов в наших исследованиях свидетельствует о возрастающем влиянии селекции на формирование продуктивности. По урожайности новейшие сорта в засушливых условиях за 3 года испытаний оказались на одном уровне с лучшими из районированных сортов. Более плавное изменение индекса продуктивности по годам указывает на большую адаптивность новых сортов пшеницы яровой.

Conclusions. Thanks to many years of observations (7 years) of soft spring wheat varieties, a yield rating was compiled. At the same time, the rating of our varieties Kamyshinskaya 3 (21st place), Zinaida (17th place) and Furor (3rd place) increased. The dependence of crop yield on climatic factors in our studies indicates the increasing influence of selection on the formation of productivity. In terms of yield, the newest varieties in dry conditions over 3 years of testing turned out to be on par with the best of the zoned varieties. A smoother change in the productivity index over the years indicates greater adaptability of new varieties of spring wheat.

Библиографический список

1. Беляков А. М. Система сортоиспытания как фактор обеспечения роста продуктивности сельскохозяйственных культур. Научно-агрономический журнал. 2020. № 1 (108). С. 31-34.
2. Воронов С. И. Состояние селекции и семеноводства зерновых культур в Российской Федерации в свете адаптивно-биосферной парадигмы земледелия. Известия Международной академии аграрного образования. 2023. № 65. С. 41-44.
3. Кушенбекова А. К., Мухомедьярова А. С. Продуктивность сортов яровой пшеницы в зависимости от климатических условий сухостепной зоны Западного Казахстана. Наука и образование. 2022. № 1-2 (66). С. 33-40.
4. Плещачев Ю. Н., Тютюма Н. В., Петров Н. Ю. и др. Фотосинтетическая деятельность твердой пшеницы в южном регионе России. Аграрная Россия. 2024. № 8. С. 14-16.
5. Захарова Е. А., Горбачева Ю. И. Мониторинг эффективности сортосмены и сортообновления яровой мягкой пшеницы на территории Волгоградской области. Научная жизнь. 2024. Т. 19. № 4 (136). С. 584-590.
6. Маркова И. Н., Воронов С. И., Зеленев А. В. и др. Мониторинг продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы в Волгоградской области. Аграрная Россия. 2023. № 8. С. 3-8.
7. Тарасенкова Ю. П. Выращивание яровой пшеницы с применением бактериальных препаратов в условиях Северного Прикаспия. Наука и молодежь: новые идеи и решения: материалы XIV Международной науч.-практ. конференции молодых исследователей. Волгоград, 2020. С. 257-259.
8. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (1). С. 58-65.
9. Белан И. А., Россеева Л. П., Мухордова М. Е. и др. Адаптивная селекция пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. № 25 (4). С. 538-550.
10. Воронов С. И., Калабашкина Е. В., Музраев В. Н. и др. Влияние агротехнологий разного уровня интенсивности на продуктивность сортов яровой пшеницы и экономическую эффективность в условиях Центральной Нечерноземной зоны. Аграрная Россия. 2025. № 3. С. 3-7.
11. Маланичев С. А., Попова В. В., Постников П. А. Элементы технологии возделывания яровой пшеницы в полевых севооборотах. От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК. Екатеринбург, 2022. С. 170-172.
12. Пристайчук Я. А., Богданов Н. А., Тойгильдин А. П. Продуктивность яровой пшеницы при различных технологиях посева и норм удобрений в условиях Ульяновской области. Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: материалы Национальной науч.-практ. конференции с международным участием, посвященной 80-летию Ульяновского государственного аграрного университета имени П. А. Столыпина. Ульяновск, 2022. С. 1560-1564.
13. Асеева Т. А., Зенкина К. В., Ломакина И. В. Создание нового исходного материала яровой пшеницы в условиях Среднего Приамурья. Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Т. 18. № 1. С. 16-25.
14. Воронов С. И., Плещачев Ю. Н., Ларин С. Ю. и др. Эффективность органических удобрений при возделывании пшеницы. Аграрная Россия. 2025. № 3. С. 8-12.
15. Марченкова Л. А., Лапочкина И. Ф., Павлова О. В. и др. Морфологические параметры раннего онтогенеза и устойчивость новых линий яровой пшеницы с генетическим материалом чужеродных видов к токсическому воздействию искусственно создаваемых абиотических стрессов. Аграрная Россия. 2024. № 11. С. 3-7.
16. Федосенко Д. Ф., Сидоров А. В. Оценка адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы красноярской селекции по зерновой продуктивности. Вестник Омского ГАУ. 2024. № 2 (54). С. 64-70.
17. Ярцев Г. Ф., Кутеева А. А. Современное состояние и перспективы производства зерна яровой пшеницы в Оренбургской области. Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 4 (44). С. 28-35.
18. Маркова И. Н. Новый сорт яровой мягкой пшеницы Фурор. Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна: материалы Национальной научной конференции. Волгоград, 2020. С. 207-211.
19. Солонкин А. В., Сухарева Е. П., Беликина А. В. Яровая пшеница в сухом климате Нижневолжского региона России. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16. № 3. С. 393-411.
20. Сухарева Е. П., Беликина А. В. Сорта яровой пшеницы в Волгоградской области. Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: материалы V Международной науч.-практ. конференции. Курск, 2023. С. 67-70.
21. Давыдова Н. В., Казаченко А. О., Широколова А. В. и др. Создание сортов яровой мягкой пшеницы с использованием озимых форм в ФИЦ «Немчиновка». Аграрная Россия. 2024. № 5. С. 3-7.

22. Дворникова Е. И., Жаркова С. В., Нечаева А. В. Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от агрометеорологических условий возделывания. Вестник Алтайского ГАУ. 2019. № 6 (176). С. 5-9.

23. Сапега В. А. Урожайность, стрессоустойчивость, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой пшеницы в условиях подтайги Северного Зауралья. Аграрная Россия. 2025. № 3. С. 26-32.

References

1. Belyakov A. M. Variety testing system as a factor in ensuring the growth of agricultural crop productivity. Scientific and agronomic journal. 2020. № 1 (108). Pp. 31-34.
2. Voronov S. I. The state of selection and seed production of grain crops in the Russian Federation in light of the adaptive-biosphere paradigm of agriculture. Bulletin of the International Academy of Agrarian Education. 2023. № 65. Pp. 41-44.
3. Kushenbekova A. K., Mukhomedyarova A. S. Productivity of spring wheat varieties depending on climatic conditions of the dry steppe zone of Western Kazakhstan. Science and education. 2022. № 1-2 (66). Pp. 33-40.
4. Pleskachev Yu. N., Tyutyuma N. V., Petrov N. Yu. et al. Photosynthetic activity of durum wheat in the southern region of Russia. Agrarian Russia. 2024. № 8. Pp. 14-16.
5. Zakharova E. A., Gorbacheva Yu. I. Monitoring the effectiveness of variety change and variety renewal of spring soft wheat in the Volgograd region. Scientific life. 2024. Vol. 19. № 4 (136). Pp. 584-590.
6. Markova I. N., Voronov S. I., Zelenev A. V. et al. Monitoring the productivity of spring soft wheat varieties in the Volgograd region. Agrarian Russia. 2023. № 8. Pp. 3-8.
7. Tarasenkova Yu. P. Growing spring wheat using bacterial preparations in the conditions of the Northern Caspian region. Science and youth: new ideas and solutions: materials of the XIV International scientific and practical conference of young researchers. Volgograd, 2020. Pp. 257-259.
8. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. Agrarian science of the Euro-North-East. 2023. № 24 (1). Pp. 58-65.
9. Belan I. A., Rosseeva L. P., Mukhordova M. E. et al. Adaptive breeding of soft spring wheat for the conditions of Western Siberia and Omsk region. Agrarian science of the Euro-North-East. 2024. № 25 (4). Pp. 538-550.
10. Voronov S. I., Kalabashkina E. V., Muzraev V. N. et al. The influence of agricultural technologies of different intensity levels on the productivity of spring wheat varieties and economic efficiency in the conditions of the Central Non-Black Earth Zone. Agrarian Russia. 2025. № 3. Pp. 3-7.
11. Malanichev S. A., Popova V. V., Postnikov P. A. Elements of spring wheat cultivation technology in field crop rotations. From modernization to advanced development: ensuring competitiveness and scientific leadership of the agro-industrial complex. Ekaterinburg, 2022. Pp. 170-172.
12. Pristaichuk Ya. A., Bogdanov N. A., Toygildin A. P. Productivity of spring wheat with various sowing technologies and fertilizer rates in the Ulyanovsk region. Science in modern conditions: from idea to implementation: materials of the National scientific and practical conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of the Ulyanovsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin. Ulyanovsk, 2022. Pp. 1560-1564.
13. Aseeva T. A., Zenkina K. V., Lomakina I. V. Creation of new source material of spring wheat in the conditions of the Middle Amur region. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2024. Vol. 18. № 1. Pp. 16-25.
14. Voronov S. I., Pleskachev Yu. N., Larin S. Yu. et al. Efficiency of organo-mineral fertilizers in wheat cultivation. Agrarian Russia. 2025. № 3. Pp. 8-12.
15. Marchenkova L. A., Lapotchikina I. F., Pavlova O. V. et al. Morphological parameters of early ontogenesis and resistance of new spring wheat lines with genetic material of alien species to the toxic effects of artificially created abiotic stresses. Agrarian Russia. 2024. № 11. Pp. 3-7.
16. Fedosenko D. F., Sidorov A. V. Evaluation of adaptability of spring soft wheat varieties of Krasnoyarsk selection for grain productivity. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2024. № 2 (54). Pp. 64-70.
17. Yartsev G. F., Kuteeva A. A. Current state and prospects for spring wheat grain production in the Orenburg region. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2022. № 4 (44). Pp. 28-35.
18. Markova I. N. New variety of spring soft wheat Furor. Forest melioration and ecological-hydrological problems of the Don catchment basin: materials of the National scientific conference. Volgograd, 2020. Pp. 207-211.
19. Solonkin A. V., Sukhareva E. P., Belikina A. V. Spring wheat in the dry climate of the Lower Volga region of Russia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Vol. 16. № 3. Pp. 393-411.
20. Sukhareva E. P., Belikina A. V. Spring wheat varieties in the Volgograd region. Problems and prospects of scientific and innovative support of the agro-industrial complex of the regions: materials of the V International scientific and practical conference. Kursk, 2023. Pp. 67-70.
21. Davydova N. V., Kazachenko A. O., Shirokolava A. V. et al. Creation of varieties of spring soft wheat using winter forms in the Federal Research Center "Nemchinovka". Agrarian Russia. 2024. № 5. Pp. 3-7.
22. Dvornikova E. I., Zharkova S. V., Nechaeva A. V. Yield of spring soft wheat varieties depending on agro-meteorological cultivation conditions. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2019. № 6 (176). Pp. 5-9.
23. Saepa V. A. Productivity, stress resistance, ecological plasticity and stability of spring wheat varieties in the conditions of the subtaiga of the Northern Trans-Urals. Agrarian Russia. 2025. № 3. Pp. 26-32.

Информация об авторах

Зеленев Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», (Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, 30, строение 1, офис 304); профессор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Маркова Ирина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший агроном-селекционер лаборатории, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4761-0554>, e-mail: irynamarckOva@yandex.ru

Питоня Владимир Николаевич, старший агроном-селекционер лаборатории, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5827-5638>

Смутнев Павел Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий агроном-селекционер лаборатории, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4958-4946>, e-mail: smut-pavel@yandex.ru

Authors' Information

Zelenev Aleksander Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, territory of the Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30, building 1, office 304); Professor of the Agrobiotechnology Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Markova Irina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Agronomist-Breeder, «Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences» (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4761-0554>, e-mail: irynamarckOva@yandex.ru

Pitonya Vladimir Nikolaevich, Senior Agronomist-Breeder, «Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences» (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5827-5638>

Smutnev Pavel Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Agronomist Breeder, "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4958-4946>, e-mail: smut-pavel@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-04

HEAT RESISTANCE OF THE PROMISING WOODY PLANTS FOR AGROFORESTRY RECLAMATION IN THE LOWER VOLGA REGION

Kalmykova E. V., Rogulina E. D.

Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru

Received 15.01.2025

Submitted 17.04.2025

The research was carried out on the topic of the State assignment of the Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences: FNFE-2025-0011 "Scientific foundations of a comprehensive study of the biodiversity of woody species and assessment of resource potential, improvement and development of methods for monitoring, conservation, restoration and selection of economically valuable woody and shrubby plants in conditions of combined action anthropogenic and natural factors for introduction into the forestry complexes of arid territories" (Registration number: 125021902501-2) funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Abstract

Introduction. The study is aimed at identifying the adaptive capabilities of woody and shrubby plants in terms of heat resistance to determine their potential for agroforestry in the Lower Volga region. **Object.** Woody and shrubby species from the collection of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Volgograd and Kamyshin): black poplar (*Populus nigra* L.), small-leaved elm (*Ulmus pumila* L.), box elder (*Acer negundo* L.), Cossack juniper (*Juniperus sabina* L.) male taxon. **Materials and methods.** The method for determining plant heat resistance (according to Matskov F. F.) was analyzed. **Results and conclusion.** When determining heat resistance, it was noted that the temperature of 40 °C is well tolerated by all samples with slight browning of the leaves of *Ulmus pumila* L., complete death of the leaf at a temperature of 60 °C was recorded for *Acer negundo* L. (100 %), territorially located in the cities of Volgograd and Kamyshin. In *Ulmus pumila* L., at the highest studied temperature, browning of the leaves was established at the level of 80 % (Volgograd) and 95 % (Kamyshin). Such a pattern can be explained by the adaptation of plant organisms to the most unfavorable conditions of Volgograd. *Juniperus sabina* L. is sufficiently adapted to the growing conditions and is distinguished by resistance to temperature stress and moisture deficiency. Based on the final score, the species were divided into three groups according to the degree of heat resistance from high to low: *Juniperus sabina* L. > *Populus nigra* L. > *Ulmus pumila* L. > *Acer negundo* L. Comparison of the obtained results according to the degree of damage to the leaf surface of samples from Volgograd and Kamyshin allows us to conclude that the plants from Volgograd are more heat-resistant and indicates a more successful acclimatization of the studied species to elevated temperatures.

Keywords: forest reclamation, heat resistance of woody plants, *Populus nigra* L., *Ulmus pumila* L., *Acer negundo* L., *Juniperus sabina* L., damage to leaf blades.

Citation. Kalmykova E. V., Rogulina E. D. Heat resistance of the promising woody plants for agroforestry reclamation in the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 37-45 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-04.

Author's contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, implementation and analysis of this study. The authors of this article have reviewed and approved the presented final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 581.522:582.6

ЖАРОУСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Калмыкова Е. В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Роголина Е. Д., магистрант

ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования выполнены по теме Государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН: №FNFE-2025-0011 «Научные основы комплексного исследования биоразнообразия древесных видов и оценка ресурсного потенциала, совершенствования и развития методов мониторинга, сохранения, восстановления и отбора хозяйственно ценных древесных и кустарниковых растений в условиях комбинированного действия антропогенных и природных факторов для внедрения в лесомелиоративные комплексы аридных территорий» (Регистрационный номер: 125021902501-2) финансирование Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Актуальность. Исследования направлены на выявление адаптационных возможностей древесных и кустарниковых растений по жаростойкости для определения их перспективности для агролесомелиорации в Нижнем Поволжье. **Объект.** Древесные и кустарниковые виды коллекции ФНЦ агроэкологии РАН (г. Волгоград и г. Камышин): тополь черный (*Populus nigra* L.), вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), клён ясенелистный (*Acer negundo* L.), можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.) мужской таксон. **Материалы и методы.** Выявлена степень жароустойчивости растений (по Мадцову Ф. Ф.) по модифицированной 4-х балльной оценке степени повреждения листовых пластинок в лабораторных условиях. **Результаты исследований.** При определении жаростойкости отмечено, что температуру 40 °С хорошо переносят все образцы с незначительным побурением листьев *Ulmus pumila* L., полная гибель листа при температуре 60 °С зафиксирована у *Acer negundo* L. (100 %), территориально расположенных на территории г. Волгограда и г. Камышина. У *Ulmus pumila* L. при самой высокой исследуемой температуре побурение листьев установлено на уровне 80 % (г. Волгоград) и 95 % (г. Камышин). Подобную закономерность можно объяснить адаптацией растительных организмов к наиболее неблагоприятным условиям г. Волгограда. *Juniperus sabina* L. достаточно адаптирован к условиям произрастания и отличается устойчивостью к температурным стрессам и дефициту влаги. По итоговому баллу виды разделили на три группы по степени жароустойчивости от высокой к низкой: *Juniperus sabina* L. > *Populus nigra* L. > *Ulmus pumila* L. > *Acer negundo* L. Сравнение полученных результатов по степени повреждения листовой поверхности образцов из г. Волгограда и г. Камышина позволяет сделать вывод, что растения г. Волгограда более жароустойчивые и свидетельствует о более успешной акклиматизации исследуемых видов к повышенным температурам.

Ключевые слова: лесомелиорация, жароустойчивость древесных растений, *Populus nigra* L., *Ulmus pumila* L., *Acer negundo* L., *Juniperus sabina* L., повреждение листовых пластинок.

Цитирование. Калмыкова Е. В., Роголина Е. Д. Жароустойчивость перспективных древесных растений для агролесомелиорации в Нижнем Поволжье. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 37-45. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-04.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Основой для создания высокопродуктивных защитных насаждений и озеленительных посадок разного функционального назначения в населенных пунктах и за их пределами являются соответствующие древесные виды [1]. Высокая температура воздуха и ее резкие колебания нередко выступают в качестве факторов, лимитирующих распространение видов и жизнедеятельность отдельных растений в их естественных местобитаниях [2, 3].

Способность переносить высокие температуры – жаростойкость – важное качество для растений, произрастающих на территориях с жестким аридным климатом [4, 5, 6, 7].

Волгоградская область находится в условиях резко континентального климата в степной и сухостепной зонах, где зимы малоснежны, а лето жаркое и сухое [8, 9]. За последнее время среднегодовая температура на территории Волгоградской области возросла на +1,1-3,3 °С. С каждым годом ее отклонение только увеличивается, что ведет к повы-

шению температуры воздуха, которая отрицательно влияет на рост и развитие растений. В летний период температура воздуха в Волгоградской области может достигать более +41 °С в тени, а на солнечных участках и выше [10].

Древесные и кустарниковые растения в сухостепной зоне могут переносить повышение температуры до +40 °С [11]. Однако в данном регионе все чаще проявляется тенденция регулярных суховея и воздушных засух, приводящих к весоному сокращению запасов почвенной влаги. При этом наблюдается угнетение растений, так как происходит замедление жизненных процессов в ткани, обезвоживание и отмирание клеток [12, 13]. Некоторые растения адаптировались к окружающей среде, благодаря морфологическим и физиологическим приспособлениям, которые защищают от повреждений высокими температурами [14, 15].

Данный критерий позволяет тщательно выбирать ассортимент растений, которые наиболее биологически устойчивы к неблагоприятным факторам аридных территорий и долговечны, менее подвержены усыханию кроны деревьев и кустарников, распространению болезней и вредителей. Выявление наиболее жаростойких видов актуально для сухостепных зон.

Целью исследования являлась оценка степени жароустойчивости различных видов перспективных в агролесомелиорации деревьев и кустарников для выявления наиболее и наименее устойчивых к высоким температурам в Нижнем Поволжье.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны: тополь черный (*Populus nigra* L.), вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), клён ясенелистный (*Acer negundo* L.), можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.) мужской таксон, которые произрастают на Нижневолжской станции селекции древесных пород г. Камышина и на территории питомника ФНЦ агроэкологии РАН. Жизненное состояние всех объектов характеризуется как здоровое согласно шкале категорий жизненного состояния деревьев Алексеева В. А. (1989).

Populus nigra L. является быстрорастущим и газоустойчивым видом, который используется на агро- и урболандшафтах для создания берегозащитных и противоэрозионных насаждений, полезащитных лесных полос на орошаемых землях [14].

Ulmus pumila L. относится к засухоустойчивым и солеустойчивым видам, растет на сухих почвах, однако плохо переносит низкие зимние температуры, хорошо отзывается на формирующую обрезку, тем самым рекомендуется для живой изгороди. Широко и повсеместно применяется в озеленении, парковых и придорожных посадках [3, 14, 16].

Acer negundo L. зимостоек, нетребователен к почве и поливу, благодаря этому может произрастать в неблагоприятных для многих видов условиях. Используется при противоэрозионных работах, для облесения откосов оврагов, размывов, крутых склонов за счет быстрого возобновления самосевом [17].

Juniperus sabina L. является единственным аборигенным видом рода *Juniperus*, который закрепляет песчаные почвы на склонах и обрывах в условиях Волгоградской области. Засухоустойчив и морозостоек. Отличается значительным долголетием [18].

Для определения степени повреждения листьев от высоких температур была проведена оценка жаростойкости по методу Ф. Ф. Мацкова (1976) [12], который основан на образовании феофитина при действии различных повреждающих факторов на клеточные мембраны.

Для проведения серии опытов отбор листьев проводили в самый жаркий месяц – июль 2024 г., срезались секатором ветви со средней части кроны, перевозились в закрытых полиэтиленовых пакетах, затем в лабораторных условиях отбирались листья и образцы в трехкратной повторности помещались в водяную баню (двухместная, ULAB UT-4302E) при трех температурных режимах (40 °С – контрольный вариант, 50 °С и 60 °С – температуры, при которых возможна гибель растения в условиях изменения климата), после охлаждения водой выдерживались в растворе соляной кислоты (0,2 Н). Визуальная оценка изменений цвета листовой пластины производилась по шкале Ф. Ф. Мацкова. Вместе с общепринятой шкалой степени повреждений по качественному показателю определяли поврежденную площадь в % от общей площади листа по 4-х балльной модифицированной методике Арестовой Е. А. (2016) [4] для условий Нижнего Поволжья. Данные показатели переведены в баллы с учетом степени повреждения по количеству бурых пятен (таблица 1). Был определен итоговый балл повреждения по формуле:

$$D dw = \frac{(d_1 \cdot 1 + d_2 \cdot 2 + d_3 \cdot 3)}{3}$$

где D dw – итоговый балл поврежденности листовых пластинок высокими температурами; $d_1...d_3$ – балл повреждения при каждой температуре, 1...3 – коэффициенты воздействующих температур 40, 50, 60.

Таблица 1 – Модифицированная методика* оценки повреждения листьев
Table 1 – Modified Method* for Assessing Leaf Damage

Шкала Ф. Ф. Мацкова / F. F. Matskov's scale	Числовая балльная система / Numerical point system	Описание / Description
«-»	1	слабое – повреждено до 10 % площади листа / weak – up to 10% of the leaf area is damaged
«+»	2	среднее – повреждено от 11 до 50 % площади листа / medium – from 11 to 50% of the leaf area is damaged
«++»	3	сильное – повреждено 51-80% листа площади листа / severe – 51-80% of the leaf area is damaged
«+++»	4	очень сильное – сплошное побурение – повреждено 81-100 % площади листа / very severe – continuous browning – 81-100% of the leaf area is damaged

* составлена авторами
* compiled by the authors

Обработка экспериментальных данных производилась в MS Excel.

Результаты исследования. Для оценки жароустойчивости использовались виды, которые обладают высокой экологической пластичностью и важными биологическими свойствами для агролесомелиорации в Нижнем Поволжье [11, 14].

Наибольшую степень повреждения при трех вариантах температуры имеют виды, произрастающие на территории г. Камышина, так как географическое расположение находится севернее г. Волгограда.

Исходя из полученных данных (рисунок 1) отмечено, что наибольшей жаростойкостью отличались можжевельник казацкий и тополь черный – на листовых пластинах отсутствовали заметные повреждения, менее устойчивый к высоким температурам вид – клён ясенелистный. Данные объекты, в зависимости от места произрастания, отличаются устойчивостью – собранные в г. Волгограде листовые пластины оказались менее повреждены, следовательно – виды обладают более высокими физиологическими приспособлениями к перенесению воздействия повышенных температур, что позволило им акклиматизироваться к жаркому климату г. Волгограда.

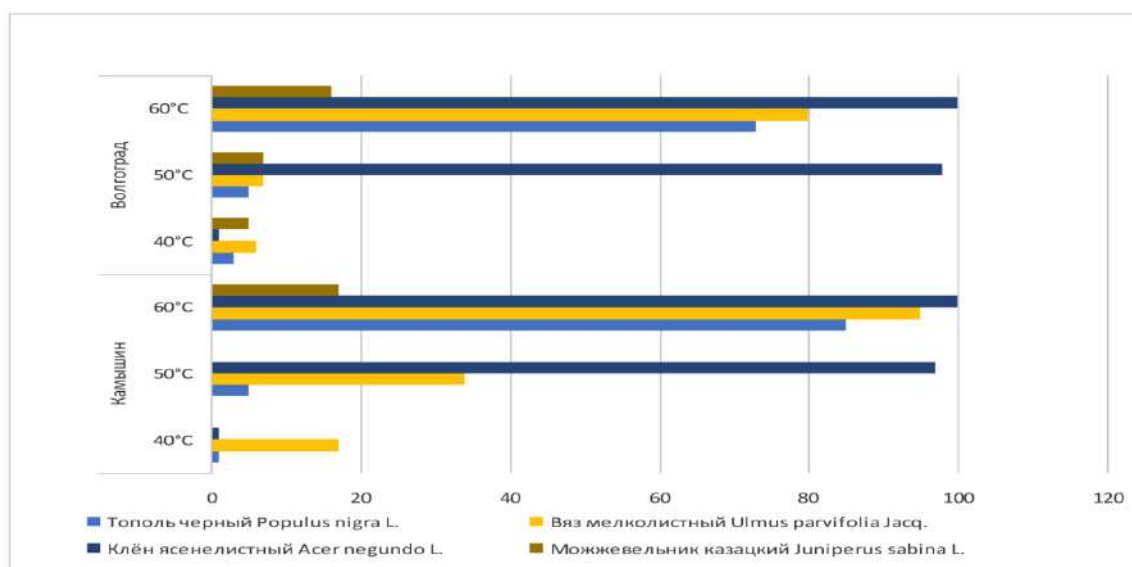


Рисунок 1 – Степень повреждения листовой пластинки при повышении температуры
Figure 1 – The degree of damage to the leaf blade with increasing temperature

Степень повреждения листовых пластинок *Populus nigra* L. при температуре 40 °С не превышает 5 %, как в г. Волгограде, так и в г. Камышине. При температурном показателе 60 °С урон значительно выше – 73 % поврежденной площади у образцов из г. Волгограда и 85 % – из г. Камышина (рисунок 2).

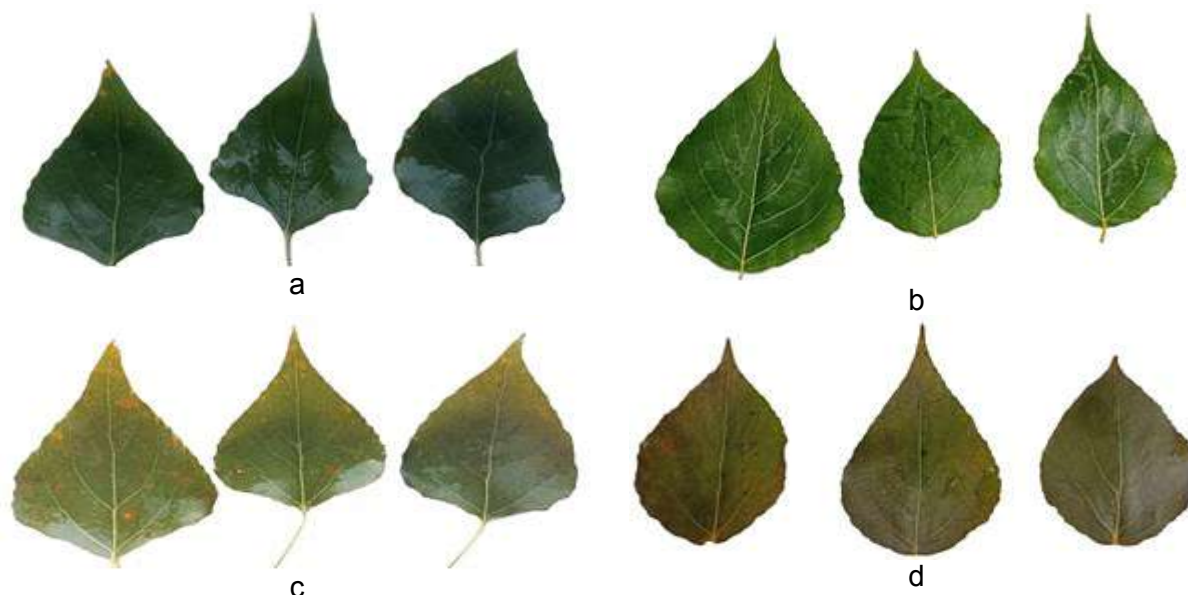


Рисунок 2 – Жаростойкость *Populus nigra* L.

а – г. Волгоград, температура 40 °С; б – г. Камышин, температура 40 °С;
с – г. Волгоград, температура 60 °С; д – г. Камышин, температура 60 °С

Figure 2 – Heat resistance of *Populus nigra* L.

а – Volgograd, temperature 40 °С; б – Kamyshin, temperature 40 °С;
с – Volgograd, temperature 60 °С; д – Kamyshin, temperature 60 °С

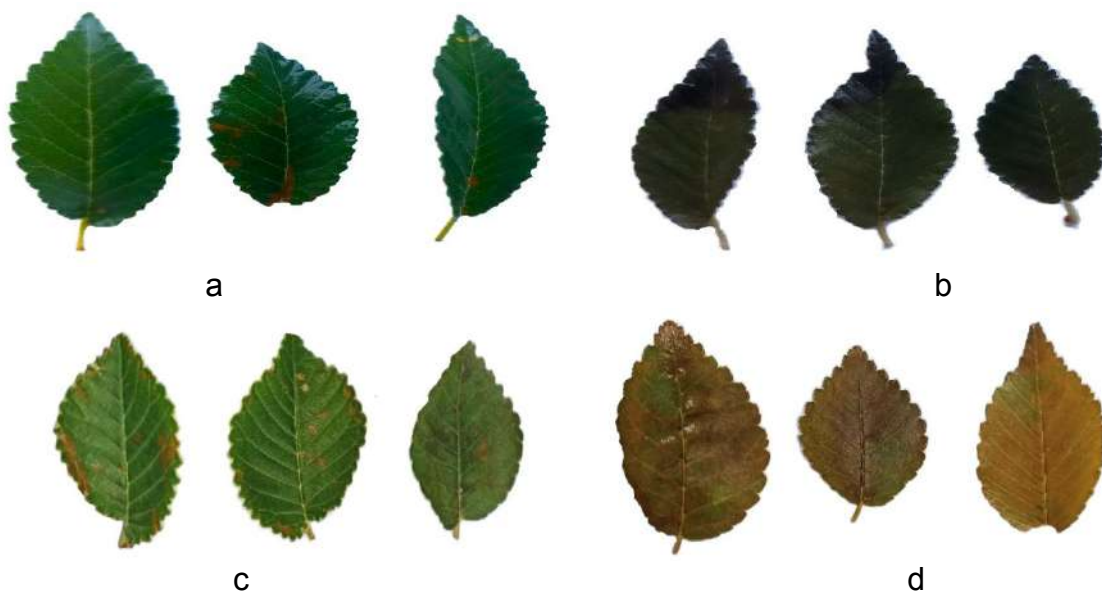


Рисунок 3 – Жаростойкость *Ulmus pumila* L.

а – г. Волгоград, температура 40 °С; с – г. Камышин, температура 40 °С;
б – г. Волгоград, температура 60 °С; д – г. Камышин, температура 60 °С

Figure 3 – Heat resistance of *Ulmus pumila* L.

а – Volgograd, temperature 40 °С; с – Kamyshin, temperature 40 °С;
б – Volgograd, temperature 60 °С; д – Kamyshin, temperature 60 °С

По степени жаростойкости *Ulmus pumila* L. (рисунок 3) из г. Камышина при температуре 40 °С и 50 °С дали практически одинаковые показатели – 1,3 балла – отмечены частичные некротические повреждения, выраженные небольшими бурыми пятнами, но при действии температуры равной 60 °С степень повреждения оценивалась уже в 4 балла, в то время как образцы из г. Волгограда оказались менее подвержены повреждениям температуры. При минимальном температурном воздействии в 40 °С отмечены значения в 0,7 баллов, при влиянии температуры 50 °С и 60 °С разница в баллах незначительна.

Результаты определения жаростойкости *Acer negundo* L. по степени повреждения листовой пластинки практически одинаковые в г. Камышине и г. Волгограде, но образцы из более северного района оказались менее жароустойчивыми (рисунок 4).

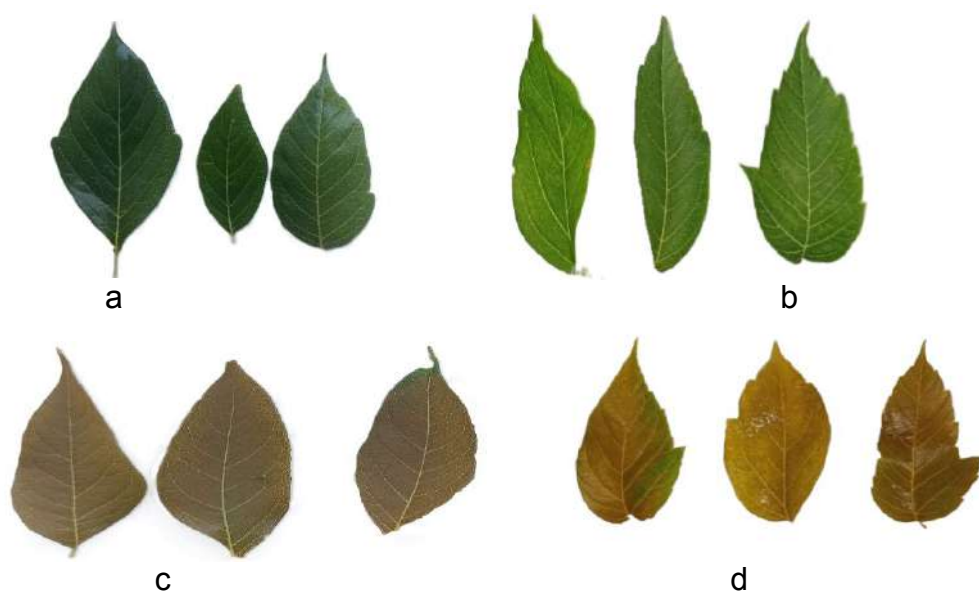


Рисунок 4 – Жаростойкость *Acer negundo* L.

а – г. Волгоград, температура 40 °С; б – г. Камышин, температура 40 °С;

с – г. Волгоград, температура 50 °С; д – г. Камышин, температура 50 °С

Figure 4 – Heat resistance of *Acer negundo* L.

а – Volgograd, temperature 40 °С; б – Kamyshin, temperature 40 °С;

д – Volgograd, temperature 50 °С; с – Kamyshin, temperature 50 °С

У *Acer negundo* L. температурой, при которой отмечено около 100 % побурения листовой пластинки, можно считать 60 °С. При температуре 50 °С уровень повреждения находился в пределах 97 % в г. Камышине и 98 % в г. Волгоград.

Образцы *Juniperus sabina* L. практически не пострадали от температурного влияния в 40 °С и 50 °С, но объекты, произрастающие на территории коллекции из г. Камышина при 50 °С, получили более высокую степень повреждения в диапазоне температур 40-50 °С, что говорит о меньшей устойчивости у исследуемого вида к высоким температурам, чем у волгоградских представителей (рисунок 5).

При определении жаростойкости отмечено, что температуру 40 °С хорошо переносят все образцы с незначительным побурением листьев *Ulmus pumila* L., полная гибель листа при температуре 60 °С зафиксирована у *Acer negundo* L. (100 %), территориально расположенных на территории г. Волгограда и г. Камышина. У *Ulmus pumila* L. при самой высокой исследуемой температуре побурение листьев установлено на уровне 80 % (г. Волгоград) и 95 % (г. Камышин). Подобную закономерность можно объяснить адаптацией растительных организмов к наиболее неблагоприятным условиям г. Волгограда. *Juniperus sabina* L. достаточно адаптирован к условиям произрастания и отличается устойчивостью к температурным стрессам и дефициту влаги. По итоговому баллу виды разделили на три группы по степени жароустойчивости от высокой к низкой: *Juniperus sabina* L.(высокая) > *Populus nigra* L. > *Ulmus pumila* L. (средняя) > *Acer negundo* L.(низкая).

Рисунок 5 – Жаростойкость *Juniperus sabina* L.

а – г. Волгоград, температура 40 °С; б – г. Камышин, температура 40 °С;

с – г. Волгоград, температура 60 °С; д – г. Камышин, температура 60 °С

Figure 5 – Heat resistance of *Juniperus sabina* L.

а – Volgograd, temperature 40 °C; б – Kamyshin, temperature 40 °C;

с – Volgograd, temperature 60 °C; д – Kamyshin, temperature 60 °C

Закключение. В ходе оценки жароустойчивости различных представителей деревьев и кустарников в Нижнем Поволжье было рассмотрено 4 вида, которые разделили на три группы по степени жароустойчивости от высокой к низкой: *Juniperus sabina* L. (высокая) > *Populus nigra* L. > *Ulmus pumila* L. (средняя) > *Acer negundo* L. (низкая). Наиболее устойчивыми к температурному воздействию оказался *Juniperus sabina* L., его образцы подверглись значимым изменениям только при температуре 60 °С. Сравнение полученных результатов по степени повреждения листовой поверхности образцов из г. Волгограда и г. Камышина позволяет сделать вывод, что растения г. Волгограда более жароустойчивые, и свидетельствует о более успешной акклиматизации исследуемых видов к повышенным температурам.

Conclusions. During the assessment of heat resistance of various representatives of trees and shrubs in the Lower Volga region, 4 species were considered, which were divided into three groups according to the degree of heat resistance from high to low: *Juniperus sabina* L. (high) > *Populus nigra* L. > *Ulmus pumila* L. (medium) > *Acer negundo* L. (low). *Juniperus sabina* L. turned out to be the most resistant to temperature effects, its samples underwent significant changes only at a temperature of 60 °C. Comparison of the obtained results on the degree of damage to the leaf surface of samples from Volgograd and Kamyshin allows us to conclude that the plants of Volgograd are more heat-resistant and indicate a more successful acclimatization of the studied species to higher temperatures.

Библиографический список

1. Семенютина А. В. и др. Методология подбора адаптированного генофонда древесных растений для агролесоводства. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2019. 139 с.
2. Скуратов И. В., Крюкова Е. А. Влияние высоких температур на состояние древесных растений и их патогенов в защитных насаждениях Нижнего Поволжья. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2 (26). С. 37-43.
3. Научно-методические указания по сортовому семеноводству деревьев и кустарников для лесомелиорации аридных территорий: научно-методические рекомендации. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2022. 52 с.
4. Арестова Е. А., Арестова С. В. Жаростойкость растений рода *Fraxinus* L. в Саратовском Поволжье. Инновационная наука. 2016. № 11-3. С. 31-34.
5. Зацепина И. В. Засухоустойчивость и жаростойкость форм груши и айвы. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. № 76 (4). С. 14-25.
6. Косарева О. Н., Жарасова Д. Н., Ахтанова А. Б. Сезонное развитие, оводненность и жаростойкость интродуцированных сортов яблони в аридных условиях Мангистау. Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. 2020. Т. 99. № 3. С. 91-99.

7. Любимов В. Б., Котова Н. П., Ломадзе Р. Н. К вопросу о жароустойчивости растений. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2009. № 2 (15). С. 238-244.
8. Рябинина Н. О., Коняшин М. С. Климат Волгоградской области и особенности его формирования. Вопросы степеведения. Оренбург: ИС УрО РАН. 2011. Выпуск 9. С. 78-81.
9. Тибирикова Н. Н., Тибириков А. П., Максимова Н. С., Лебедева Л. В. Краткая характеристика природных условий Волгоградской области. Вопросы краеведения. Волгоград, 2020. Выпуск 16. С. 28-33.
10. Мелихов В. В., Зибаров А. А., Мелихова Н. П., Романова А. В. Характер и направленность изменений климатических параметров Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1(53). С. 60-67.
11. Семенютина А. В., Ноянова Н. Г. Региональная специфика озеленения малых городов южной сухостепной зоны. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 6 (372). С. 146-159.
12. Михеева М. А., Федорова А. И. Влияние высоких температур на устойчивость древесных растений в городской среде. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2011. № 2. С. 166-175.
13. Москаленко И. В., Любимов В. Б. Важнейшие абиотические факторы и адаптация к ним древесных растений. Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 5-3 (73). С. 14-20.
14. Нерушаева Т. Б., Герман Н. В. Влияние антропогенной нагрузки на жаростойкость и состояние древесных насаждений в Центральном и Кировском районах г. Волгограда. Самарский научный вестник. 2023. Т. 12. № 1. С. 101-104.
15. Солонкин А. В., Семенютина А. В., Никольская О. А., Киктева Е. Н. Оценка засухоустойчивости и жаростойкости сортов и форм косточковых культур в условиях Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 55-64.
16. Семенютина А. В., Подковыров И. Ю. Критерии обоснования кластеров при анализе перспективности интродукции ильмовых для защитного лесоразведения. Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 1678.
17. Воронина В. П., Долмоного М. А., Зарубина А. В. Биоэкологические особенности видов рода клен (*Acer*) на урбанизированных почвах Нижнего Поволжья. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021. № 2 (63). С. 69-76.
18. Цой М. В., Семенютина А. В. Оценка роста и развития видов рода *Juniperus* L. в условиях интродукции Волгоградской области. Успехи современного естествознания. 2020. № 9. С. 20-27.

References

1. Semenytina A. V. et al. Methodology for the selection of the adapted gene pool of woody plants for agroforestry. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2019. 139 p.
2. Skuratov I. V., Kryukova E. A. Effect of High Temperatures on the State of Woody Plants and Their Pathogens in Protective Plantations of the Lower Volga Region. Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Wildlife management. 2015. № 2 (26). Pp. 37-43.
3. Scientific and methodological guidelines for varietal seed production of trees and shrubs for forest reclamation of arid territories: scientific and methodological recommendations. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2022. 52 p.
4. Arestova E. A., Arestova S. V. Heat Resistance of Plants of the Genus *Fraxinus* L. in the Saratov Volga Region. Innovative science. 2016. № 11-3. Pp. 31-34.
5. Zatsepina I. V. Drought Resistance and Heat Resistance of Pear and Quince Forms. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2022. № 76 (4). Pp. 14-25.
6. Kosareva O. N., Zharasova D. N., Akhtanova A. B. Seasonal Development, Water Content, and Heat Resistance of Introduced Apple Varieties in the Arid Conditions of Mangystau. Bulletin of Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography. 2020. V. 99. № 3. Pp. 91-99.
7. Lyubimov V. B., Kotova N. P., Lomadze R. N. On the Issue of Heat Resistance of Plants. Bulletin of Volgograd State University. Series 3: Economics. Ecology. 2009. № 2 (15). Pp. 238-244.
8. Ryabinina N. O., Konyashin M. S. Climate of the Volgograd Region and Features of Its Formation. Questions of Degree Studies. Orenburg: IS Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2011. Issue 9. Pp. 78-81.
9. Tibirkova N. N., Tibirkov A. P., Maksimova N. S., Lebedeva L. V. Brief Characteristics of Natural Conditions of the Volgograd Region. Issues of local history. Volgograd, 2020. Issue 16. Pp. 28-33.
10. Melikhov V. V., Zibarov A. A., Melikhova N. P., Romanova A. V. Nature and direction of changes in the climatic parameters of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 1 (53). Pp. 60-67.
11. Semenytina A. V., Noyanova N. G. Regional specifics of landscaping small towns of the southern dry steppe zone. Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal. 2019. № 6 (372). Pp. 146-159.
12. Mikheeva M. A., Fedorova A. I. Effect of High Temperatures on the Stability of Woody Plants in the Urban Environment. Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2011. № 2. Pp. 166-175.
13. Moskalenko I. V., Lyubimov V. B. Most Important Abiotic Factors and Adaptation of Woody Plants to Them. Current scientific research in the modern world. 2021. № 5-3 (73). Pp. 14-20.
14. Nerushaeva T. B., German N. V. Influence of Anthropogenic Load on Heat Resistance and Condition of Tree Plantations in the Central and Kirovsky Districts of Volgograd. Samara Scientific Bulletin. 2023. V. 12. № 1. Pp. 101-104.
15. Solonkin A. V., Semenytina A. V., Nikolskaya O. A., Kikteva E. N. Assessment of drought resistance and heat resistance of stone fruit varieties and forms under the conditions of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 4 (56). Pp. 55-64.
16. Semenytina A. V., Podkovyrov I. Y. Criteria for substantiating clusters in the analysis of the prospects for the introduction of elms for protective afforestation. Modern problems of science and education. 2015. № 1-1. P. 1678.

17. Voronina V. P., Dolmonogo M. A., Zarubina A. V. Bioecological Features of Maple (Acer) Species on Urbanized Soils of the Lower Volga Region. Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov. 2021. № 2 (63). Pp. 69-76.

18. Tsoi M. V., Semenyutina A. V. Estimation of Growth and Development of Species of the Genus Juniperus L. under the Conditions of Introduction of the Volgograd Region. Advances in modern natural science. 2020. № 9. Pp. 20-27.

Информация об авторах

Калмыкова Елена Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>, e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru

Рогулина Елизавета Дмитриевна, магистрант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0009-0008-2508-5633, e-mail: rogulina-e@vfanc.ru

Authors' Information

Kalmykova Elena Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>, e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru

Rogulina Elizaveta Dmitrievna, postgraduate student, Volgograd SAU, laboratory assistant-researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0009-0008-2508-5633, e-mail: rogulina-e@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-05

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF STRAW USE IN THE CULTIVATION OF GRAIN SORGHUM

²Pakina E. H., ^{1,2}Zelenev A. V., ²Lyashko M. U., ²Terentyev V. M., ²Terentyeva T. S.

¹Federal Research Center «Nemchinovka»

Moscow, Russian Federation

²Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: zelenev.a@bk.ru

Received 05.04.2025

Submitted 06.04.2025

Summary

The article analyzes the efficiency of returning the non-commercial part of grain and leguminous crops (straw) to the light chestnut soil to supply it with mineral nutrients and increase the yield of sorghum grain.

Abstract

Introduction. Recently, the use of straw as an inexpensive organic fertilizer has become widespread in Russia. **Materials and methods.** The research was conducted on light chestnut soils, which contained 1.74 % humus in the upper cultivated layer. In the control variant of the agrocenosis, the preceding crop for grain sorghum was winter wheat, and its straw was removed from the field after harvesting. In the second agrocenosis variant, winter wheat also served as the preceding crop, but its straw was incorporated into the soil. In the third and fourth variants, spring wheat and peas were used as preceding crops, respectively, with the straw of each returned to the soil. In all cases, the non-marketable residues of the preceding crops (straw) were incorporated into the soil along with ammonium nitrate at a rate of 10 kg of active nitrogen per ton of straw. **Results and Discussion.** Among the studied variants, the maximum accumulation of nitrogen, phosphorus, and potassium (NPK) in post-harvest plant residues was observed when the preceding crop was winter wheat, and its straw, together with stubble, was plowed into the soil-amounting to 35.4 kg/ha of nitrogen, 8.7 kg/ha of phosphorus, and 53.7 kg/ha of potassium. This outcome was primarily associated with the contribution of the straw. The highest levels of nitrate nitrogen (N-NO₃), available phosphorus (P₂O₅), and exchangeable potassium (K₂O) in the soil at the time of sorghum sowing were also recorded in the variant with winter wheat straw incorporation, amounting to 10.5 mg/kg of N-NO₃, 33.5 mg/kg of P₂O₅, and 385.2 mg/kg of K₂O, respectively. In terms of grain sorghum productivity, the use of different preceding crops in the agrocenosis significantly influenced yield compared to the control variant (winter wheat without straw return). The variant where winter wheat straw was incorporated yielded the highest average grain sorghum production over the study period, at 2.14 t/ha. This result can be attributed to enhanced soil nutrient availability due to the return of straw, which optimized the soil nutrient regime for the subsequent sorghum crop. In comparison, average sorghum yields were 1.86 t/ha in the spring wheat (straw) variant and 1.92 t/ha in the peas (straw) variant. These results highlight the importance of incorporating crop residues into the soil as a means to improve nutrient cycling and increase the productivity of the sorghum crop.

Keywords: grain sorghum, technologies of cultivation of grain sorghum, predecessors of grain sorghum, yield of grain sorghum.

Citation. Pakina E. H., Zelenev A. V., Lyashko M. U., Terentyev V. M., Terentyeva T. S. Evaluation of the efficiency of straw use in the cultivation of grain sorghum. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 45-55 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-05.

Author's contribution. All authors were directly involved in the planning, execution or analysis of the study, and also reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.872:633.17

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛОМЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВОГО СОРГО

²Пакина Е. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

^{1,2}Зеленев А. В., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, профессор

²Ляшко М. У., кандидат биологических наук, доцент

²Терентьев В. М., ассистент

²Терентьева Т. С., магистрант

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

г. Москва, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

г. Москва, Российская Федерация

Введение. В последнее время в России широкое распространение получило использование соломы в виде недорогого органического удобрения. **Материалы и методы.** Опыт закладывался на светло-каштановых почвах, которые содержали в верхнем обрабатываемом слое почвы 1,74 % гумуса. В первом контрольном агрофитоценозе предшественником зернового сорго была озимая пшеница, солома которой отчуждалась с поля. Во втором агрофитоценозе предшественником сорго также была озимая пшеница, но ее солома запахивалась в почву. В третьем и четвертом вариантах предшествующими культурами были, соответственно, яровая пшеница и горох, солома которых возвращалась в почву. Нетоварная часть предшествующих культур (солома) заделывалась в почву вместе с аммиачной селитрой в расчете 10 кг д. в. на 1 т. **Результаты и обсуждение.** Наибольшее накопление элементов питания, таких как азот, фосфор и калий (NPK), в растительных остатках отмечено после уборки озимой пшеницы при условии возвращения соломы и пожнивных остатков в почву. В этих обстоятельствах содержание азота достигало 35,4 кг/га, фосфора – 8,7 кг/га, а калия – 53,7 кг/га, при этом солома являлась основным источником данных элементов. При возделывании зернового сорго самые высокие показатели содержания нитратного азота (N-NO_3), подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) в почве были зафиксированы в вариантах, где сорго выращивалось после озимой пшеницы с внедрением растительных остатков. При этом содержание азота составило 10,5 мг/кг, фосфора – 33,5 мг/кг, калия – 385,2 мг/кг. В агрофитоценозах использование различных предшественников при выращивании зернового сорго способствовало повышению его урожайности по сравнению с условиями, когда солома озимой пшеницы не возвращалась в почву. Максимальная урожайность зернового сорго, в среднем равная 2,14 т/га за период исследования, была получена при возделывании после озимой пшеницы с возвращением соломы в почву. Данный эффект объясняется результативным восполнением элементов питания посредством разложения соломы, что привело к улучшению питательного режима почвы. Урожайность сорго в варианте с использованием соломы яровой пшеницы составила в среднем 1,86 т/га, в то время как применение растительных остатков после гороха обеспечивало среднюю урожайность на уровне 1,92 т/га.

Ключевые слова: зерновое сорго, технологии возделывания зернового сорго, предшественники зернового сорго, урожайность зернового сорго.

Цитирование. Пакина Е. Н., Зеленев А. В., Ляшко М. У., Терентьев В. М., Терентьева Т. С. Оценка эффективности применения соломы при возделывании зернового сорго. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 45-55. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-05.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Обеспечение продовольственной безопасности нашей страны является ключевым элементом обязательств государства по компенсации запросов общества в пищевых продуктах на уровне, гарантирующем комфортное проживание. Это одно из фундаментальных противоречий, с которым вскоре соприкоснется население из-за перемен экосистемы и демографического роста [1–4].

Зерновые и зернобобовые культуры являются массово культивируемыми на планете, приносящими большой объем нетоварной части урожая (соломы). В новейшее время в России использование соломы в форме недорогого органического удобрения приобрело

массовое внедрение. Огромный интерес представляет практическое влияние возврата нетоварной части зерновых и зернобобовых культур, возделываемых в полевых агрофитоценозах, в частности, увеличение содержания углеродсодержащих соединений в верхнем обрабатываемом слое почвы. На самом деле, в части органического удобрения солома способна насыщать почву многообразными элементами минерального питания [5-7].

Следует отметить, что качество соломы различных агрокультур колоссально разнится, что неминуемо влечет за собой неоднозначный эффект от ее использования на плодородные почвы и, как следствие, на урожайность последующих сельскохозяйственных культур. В среднем в сухом веществе нетоварной части (соломы) зерновых культур содержится 0,5 % азота, 0,25 % фосфора, 0,8 % калия, 35-40 % углерода, а также имеется некоторое количество кальция, магния, серы и микроэлементов – бора, меди, молибдена, цинка, кобальта. В соломе зернобобовых культур азота содержится 1,29 %, фосфора – 0,16 %, калия – 1,07 %, кальция – 0,9 % и магния – 0,16 % [8-10].

На данный момент ведутся обширные эксперименты по исследованию последствий поступления соломы от предыдущих зерновых и зернобобовых агрокультур в почву на урожайность зерна последующих посевов. В частности, заплата соломы в верхний обрабатываемый слой почвы способна привести к сокращению урожайности агрокультур при условии ее неправильного использования. Добавление соломы в почву стимулирует активное размножение бактерий, которые перерабатывают клетчатку. Этот процесс требует большого количества азота. Однако содержание азота в нетоварной части урожая крайне низкое, поэтому целлюлозоразлагающие бактерии начинают извлекать азот из почвы. В результате происходит снижение доступного азота из-за иммобилизации – процесса, при котором азот превращается в формы, недоступные для растений. Если в почвенном слое недостаточно азота для питания бактерий, то процессы разложения соломы начинают замедляться. В связи с этим заплата соломы в почву следует проводить исключительно в сочетании с азотными или бактериальными удобрениями, которые усилят аммонифицирующий и ослабят нитрифицирующий потенциал корнеобитаемого слоя, активизируя деятельность клубеньковых микроорганизмов [11-13].

Целью данного исследования является выяснение того, как возврат нетоварной части ранее возделываемых зерновых и зернобобовых культур (соломы) влияет на обеспеченность светло-каштановых почв Нижнего Поволжья элементами минерального питания и урожайность зернового сорго, что будет способствовать сохранению надежной продовольственной безопасности страны в перспективе.

Материалы и методы. Опыт был заложен на землях ФНЦ агроэкологии РАН. По гранулометрическому составу светло-каштановая почва экспериментального участка была тяжелосуглинистой, содержала в верхнем обрабатываемом слое почвы 1,74 % гумуса по Тюрину, что соответствовало очень низкому значению (<2 %). Сумма среднегодовых осадков в годы исследований составляла 379,6 мм в 2016-2017 сельскохозяйственном году, 391,0 мм – в 2017-2018 году, 388,3 мм – в 2018-2019 году и 271,5 мм – в 2019-2020 году в сравнении с 339,2 мм в среднем за многие годы. Во время вегетации зернового сорго было зафиксировано количество осадков: 88,4 мм, 99,9 мм, 127,9 мм и 106,3 мм, что ниже среднепогодных показателей (118,6 мм). Исследование проводилось с четырехкратной повторностью на опытных делянках площадью 200 м². Для исследования использовался сорт зернового сорго Камышинское 64. В рамках исследования были изучены различные варианты построения полевых биологизированных агрофитоценозов с включением различных типов предшественников и внесением органических удобрений в виде соломы:

В контрольной четырехпольной системе севооборота чередовались следующие культуры: черный пар, озимая пшеница, зерновое сорго и овес. В данном варианте оставляли в почве только пожнивные и корневые остатки, тогда как солома озимой пшеницы полностью удалялась из агроценоза.

Во втором варианте – четырехпольной сидеральной системе – вместо черного пара применялся сидеральный пар с заделкой ржи, а на последующих этапах севооборота (озимая пшеница, зерновое сорго, овес) вся нетоварная часть урожая (солома) возвращалась в почву с запахиванием в верхний обрабатываемый слой. Солома озимой пшеницы после сбора урожая заделывалась методом поверхностной обработки, что способствовало улучшению органического состава почвы.

Третий вариант, представляющий семипольную сидеральную систему, включал в себя следующие культуры: сидеральный пар (рыжик), озимая и яровая пшеница, зерновое сорго, нут, сафлор и овес. В каждом звене севооборотов вся солома предшествующих культур равномерно заделывалась в почву, включая остатки соломы яровой пшеницы, непосредственно предшествующей выращиванию зернового сорго.

Четвертый вариант, основанный на восьмипольной системе, включал наиболее сложную структуру чередования культур: горох, озимую пшеницу, нут, сафлор, горох (вторично), зерновое сорго, нут (вторично) и овес. Предшествующей культурой для зернового сорго в данном варианте выступал горох, причем его солома также полностью заделывалась в почву, что благоприятно влияло на обогащение почвы органическими веществами и ее обеспеченность азотом благодаря симбиотической фиксации данного элемента клубеньковыми бактериями.

Таким образом, в эксперименте изучались особенности воздействия технологии возврата соломы, заделываемой в почву в сочетании с внесением аммиачной селитры из расчета 10 кг действующего вещества на 1 т соломы. Варианты без возврата соломы (контроль) сравнивались с теми, где эта органическая масса с боронованием БДТ-3 вносилась в обрабатываемый слой почвы после сбора урожая. В рамках всех систем проводили основную обработку чизельными орудиями ОЧО-5-40 на глубину 0,3-0,32 м. Посев осуществлялся сеялкой СПЧ-6 с нормой высева 300 тыс. шт./га.

Общий азот в растительных остатках предшественников (солома, стерня, корни) определяли методом мокрого озоления, фосфор – колориметрическим методом, калий – на пламенном фотометре. Нитратный азот, подвижные фосфор и калий, которые содержались в почве, определяли, соответственно, по Грандваль – Ляжу и Мачигину. Хозяйственная урожайность сорго учитывалась весовым методом при сплошной комбайновой уборке поделочно. Дисперсионный анализ данных по Б. А. Доспехову с использованием программы Statistica 10.

Результаты и обсуждение. Проведенные ранее исследования, посвященные оценке компенсационного потенциала питательных элементов при заделке 1 тонны растительных остатков различных агрокультур, подтвердили, что в зависимости от типа соломы в верхние горизонты окультуренного почвенного слоя возвращается от 3,8 до 9,9 кг азота, от 1,8 до 5,2 кг фосфора и от 11,7 до 16,3 кг калия. При урожайности зерновых культур на уровне 4-6 т/га возврат питательных веществ через заделку нетоварной части урожая (в частности, соломы озимой и яровой пшеницы) может составлять 20-30 кг азота, 10-16 кг фосфора и 40-70 кг калия на гектар пахотной земли. В условиях повторной заделки измельченной биомассы гороха в объеме 3,38 т/га содержание азота в почвенном горизонте увеличилось на 66 кг/га, фосфора – на 11 кг/га, а калия – на 25 кг/га [14-16].

Таблица 1 – Масса основных элементов питания, поступившая в почву с растительными и корневыми остатками предшественников сорго, кг/га (среднее за 2017-2020 гг.)
Table 1 – Mass of main nutrient elements entering the soil with plant and root residues of sorghum predecessors, kg/ha (average for 2017-2020)

№ варианта / № variant	Предшественник / Predecessor	Основные питательные элементы / Essential nutrients											
		Солома / Straw			Стерня / Stemum			Корни / Roots			Всего / Total		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 (контроль) / 1 (control)	Озимая пшеница / Winter wheat	-	-	-	3,7	1,0	7,7	7,9	1,7	7,0	11,6	2,7	14,7
2	Озимая пшеница (солома) / Winter wheat (straw)	22,5	5,5	36,8	3,9	1,2	9,2	9,0	2,0	7,7	35,4	8,7	53,7
3	Яровая пшеница (солома) / Spring wheat (straw)	18,7	3,6	25,9	3,3	0,9	4,5	6,6	1,5	5,0	28,6	6,0	35,4
4	Горох (солома) / Peas (straw)	17,6	2,1	17,6	2,7	0,4	2,5	5,7	0,9	3,7	26,0	3,4	23,8
НСР ₀₅		-	-	-	0,15	0,19	0,31	0,45	0,17	1,12	3,74	1,14	4,37

Представленные данные позволяют оценить влияние предшественника на накопление основных питательных элементов – азота (N), фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) – в различных компонентах растительных остатков: соломе, стерне и корнях. Этот анализ является важным для оценки продуктивности зернового сорго и эффективности использования растительных остатков в системе воспроизводства плодородия почвы (таблица 1).

Анализ таблицы 1 показал, что с соломой зерновых культур, предшествующих сорго, наибольшее количество основных питательных веществ (NPK) поступило в верхний слой почвы от озимой пшеницы, соответственно 22,5; 5,5 и 36,8 кг/га, меньше от яровой пшеницы – 18,7; 3,6 и 25,9 кг/га и ниже всего от гороха – 17,6; 2,1 и 17,6 кг/га.

За счет более высокого среза растений озимой пшеницы при уборке со стерней в почву поступало более высокое количество NPK по сравнению с другими предшественниками сорго, соответственно 3,7-3,9 кг/га, 1,0-1,2 кг/га и 7,7-9,2 кг/га. Со стерней яровой пшеницы в верхний окультуренный слой возвращалось 3,3 кг/га азота, 0,9 кг/га фосфора и 4,5 кг/га калия. Меньше всего поступало в почву со стерней гороха: азота 2,7 кг/га, фосфора – 0,4 кг/га и калия – 2,5 кг/га.

Более мощно развитая корневая система озимой пшеницы по сравнению с яровой пшеницей и горохом способствовала самому высокому накоплению питательных веществ в верхнем обрабатываемом почвенном слое: азота – 7,9-9,0 кг/га, фосфора – 1,7-2,0 кг/га и калия – 7,0-7,7 кг/га. Яровая пшеница формировала менее мощную корневую систему, поэтому в почве оставалось NPK ниже, чем от озимой пшеницы, соответственно 6,6; 1,5 и 5,0 кг/га. Наименьшее количество азота, фосфора и калия оставалось в почве после возвращения с корневой системой гороха, составляя всего 5,7 кг/га азота, 0,9 кг/га фосфора и 3,7 кг/га калия.

Наибольший запас азота (N) в растительных остатках был зафиксирован при применении варианта с озимой пшеницей, где солома возвращалась в почву. Общее содержание азота достигало 35,4 кг/га, причем основной вклад (22,5 кг/га) обеспечивала именно солома. Это свидетельствует о высокой азотной ценности растительных остатков данной культуры. Вариант «яровая пшеница (солома)» (28,6 кг/га) уступал предыдущему в результате меньшего поступления в почву растительных остатков. Вариант «горох (солома)» (26,0 кг/га) обеспечивал меньший вклад в общее содержание азота, что объясняется неспособностью бобовых культур в засушливых условиях фиксировать в полном объеме азот из атмосферы, обогащая почву этим элементом. Наименьший показатель азота наблюдался в контрольном варианте («озимая пшеница», без соломы), где общее накопление азота составляло всего 11,6 кг/га. Это подтверждает негативное влияние на азотный баланс почвы при отсутствии возврата растительных остатков.

Максимальное общее содержание фосфора отмечалось после внесения растительных остатков озимой пшеницы (солома), составив 8,7 кг/га, что превышало показатели других вариантов. Соломенная часть растительных остатков обеспечивала 5,5 кг/га, что составляло 63 % от общего вклада. С послеуборочными остатками яровой пшеницы в верхний окультуренный почвенный слой возвращалось 6,0 кг/га. Фосфорное накопление в варианте с горохом (3,4 кг/га) ниже, что связано с относительно меньшей массой растительных остатков, в частности, соломы. Минимальное содержание фосфора наблюдалось в контрольном варианте (2,1 кг/га), что еще раз подчеркивает важность растительных остатков как источника пополнения фосфатного фонда почвы.

Наибольшее общее содержание калия в растительных остатках наблюдалось в варианте «озимая пшеница (солома)» (53,7 кг/га), где наибольший вклад состоял из соломы (36,8 кг/га), что свидетельствует о высокой калиевой способности данной культуры. Вариант с яровой пшеницей (солома) обеспечивал содержание калия на уровне 35,4 кг/га, что на 34 % ниже, чем у озимой пшеницы. Это связано с меньшей биомассой остатков и меньшим содержанием калия в растительных остатках. В варианте, где в почву вносилась солома гороха, с органическим веществом возвращалось 23,8 кг/га калия. В контрольном варианте накопление калия минимально (14,7 кг/га), что отражает негативное влияние удаления растительных остатков на баланс калия в почве.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что нетоварная часть (солома) агрокультур, возделываемых в агрофитоценозах, поступающая в верхний обрабатываемый слой почвы, оказывает существенное влияние на оптимизацию баланса азота. Целлюлоза, находящаяся в соломе, задействуется в обмене веществ микроорганизмов, приспособлен-

ных к усвоению газообразного азота. Пропорциональность микробиологических процессов мобилизации и иммобилизации азота ощутимо сдвигается в направлении превалирования конечного, вследствие этого преобладающая доля возвращаемого в почву азота фиксируется в органическом веществе, наряду с этим увеличивается содержание легкодоступных соединений фосфора и калия [17-19].

Анализ представленных данных свидетельствует о существенном влиянии предшественников на содержание элементов питания в почве, включая нитратный азот ($N-NO_3$), фосфор (P_2O_5) и калий (K_2O), как на этапе посева сельскохозяйственных культур, так и после завершения уборки урожая (см. таблица 2).

Таблица 2 – Содержание в пахотном 0-0,3 м слое почвы нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия при посеве и уборке зернового сорго, мг/кг абсолютно сухой почвы (среднее за 2017-2020 гг.)

Table 2 – Content in the arable 0-0.3 m soil layer of nitrate nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium at sowing and harvesting of grain sorghum, mg/kg of absolutely dry soil (average for 2017-2020)

№ варианта / № variant	Предшественник / Predecessor	Посев / Seeding			Уборка / Cleaning		
		$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O
1 (контроль) / 1 (control)	Озимая пшеница / Winter wheat	8,7	28,1	365,3	2,08	23,3	343,6
2	Озимая пшеница (солома) / Winter wheat (straw)	10,5	33,5	385,2	3,01	26,7	364,5
3	Яровая пшеница (солома) / Spring wheat (straw)	10,0	30,3	375,1	2,84	25,5	350,6
4	Горох (солома) / Peas (straw)	10,1	31,7	363,7	2,89	24,4	352,6
HCP ₀₅		0,56	1,17	2,25	0,34	0,78	3,51

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что максимальные концентрации нитратного азота ($N-NO_3$) в почве в период посева зернового сорго были отмечены при использовании в качестве предшественников «озимой пшеницы (с включением соломы)» (10,5 мг/кг), «гороха (с включением соломы)» (10,1 мг/кг) и «яровой пшеницы (с включением соломы)» (10,0 мг/кг). Эти значения характеризуются как низкое содержание нитратного азота в почвенном слое. Такой результат свидетельствует о недостаточной эффективности растительных остатков (в виде соломы) для формирования доступных форм азота в верхнем горизонте почвы. В контрольном варианте, где предшественником выступала озимая пшеница без внесения соломы, содержание нитратного азота оказалось минимальным (8,7 мг/кг), что соответствует очень низкому уровню обеспеченности почвы этим элементом.

Содержание подвижного фосфора (P_2O_5) на этапе посева зернового сорго также варьировалось в зависимости от предшественников. Наиболее высокие показатели отмечены после таких предшественников, как «озимая пшеница с соломой» (33,5 мг/кг) и «горох с соломой» (31,7 мг/кг). Вероятно, увеличение содержания фосфора связано с интенсификацией процессов разложения растительных остатков и высвобождением из них значительных объемов соединений фосфора, которые переходят в подвижные формы, доступные для растений. В вариантах, использовавших предшественников «яровая пшеница с соломой» и «озимая пшеница без соломы (контроль)», содержание подвижного фосфора составило 30,3 мг/кг и 28,1 мг/кг соответственно, что означает средний уровень обеспеченности почвы этим элементом.

Концентрация подвижного калия (K_2O) в пахотном слое почвы на этапе посева зернового сорго достигала наибольших значений после варианта «озимая пшеница (солома)» (385,2 мг/кг), что связано с высоким содержанием калия в золе растительных остатков. В варианте, где предшественником сорго была «яровая пшеницы (солома)» содержание калия в пахотном слое почвы равнялось 375,1 мг/кг. Минимальные значения отмечались после гороха, солома которого запахивалась в почву (363,7 мг/кг) и озимой пшеницы (контроль), где солома отчуждалась с поля (365,3 мг/кг). Во всех вариантах содержание калия в почве к посеву сорго характеризовалось как повышенное.

Содержание нитратного азота ($N-NO_3$) снижалось после уборки в каждом варианте до очень низкого уровня (<10 мг/кг), однако его концентрация оставалась наиболее высокой в вариантах с использованием растительных остатков: «озимая пшеница (солома)» (3,01 мг/кг),

«горох (солома)» (2,89 мг/кг) и «яровая пшеница (солома)» (2,84 мг/кг). Контрольный вариант характеризовался наименьшим содержанием нитратного азота (2,08 мг/кг), что подтверждает необходимость внесения органических остатков для улучшения азотного питания.

Уровень фосфора (P_2O_5) также снижался до средних значений во всех вариантах, оставаясь немного выше в вариантах с использованием растительных остатков. Наиболее высокий уровень фосфора после сбора урожая сорго наблюдался при использовании предшественника «озимая пшеница (солома)» – 26,7 мг/кг. Данное явление, скорее всего, обусловлено медленным процессом минерализации органического вещества, содержащегося в соломе. В вариантах с предшественниками «яровая пшеница (солома)» и «горох (солома)» содержание фосфора в верхнем обрабатываемом почвенном слое, соответственно составляло 26,7 мг/кг и 26,7 мг/кг. Контрольный вариант демонстрировал наименьшие значения (23,3 мг/кг).

Концентрация в почве калия (K_2O) после уборки сорго также уменьшалась в каждом варианте, но соответствовала, как и при посеве, повышенному значению, однако наблюдались различия между предшественниками. Наиболее высокое содержание калия отмечалось при использовании предшественников «озимая пшеница (солома)» (364,5 мг/кг), «горох (солома)» (352,6 мг/кг) и «яровая пшеница (солома)» (350,6 мг/кг). Эти результаты подтверждают важность растительных остатков как источника калия для почвы. При этом минимальное значение калия наблюдалось в контрольном варианте, где солома озимой пшеницы удалялась с поля, – 343,6 мг/кг почвы.

Оценка данных с помощью критерия НСР (наименьшая значимая разница при $p \leq 0,05$) демонстрирует, что различия в содержании азота, фосфора и калия являются статистически значимыми. Например, разница между контрольным вариантом и вариантом «Озимая пшеница (солома)» для содержания азота (на этапе посева: 1,8 мг/кг; после уборки: 0,93 мг/кг) превышает порог НСР (0,56 и 0,34 мг/кг соответственно), что свидетельствует о достоверном влиянии растительных остатков на содержание нитратного азота.

Поступление нетоварной части возделываемых в агрофитоценозах агрокультур (соломы) в верхний окультуренный почвенный слой благоприятствует росту урожайности зернового сорго. На основании результатов ранее проведенных исследований установлено, что наибольшая прибавка урожайности в сопоставлении с контрольным вариантом достигнута при культивировании сорго в четырехпольном агрофитоценозе с озимой пшеницей и запашке всей нетоварной части – 0,28 т/га, где урожайность равнялась 2,82 т/га. Также указывается, что максимальная урожайность зерна сорго (4,2 т/га) образована в варианте «солома + сидераты + NPK» со вспашкой, а минимальная (1,3 т/га) – на фоне без удобрений [20-22].

Данные об урожайности зерна сорго после различных предшественников за четыре года (2017-2020 гг.) свидетельствуют о высокой зависимости урожайности от выбора предшествующей культуры и уровня плодородия почвы, сформированного за счет растительных остатков. Кроме того, значительная изменчивость результатов подчеркивает влияние погодных условий конкретных лет (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность зернового сорго, т/га
Table 3 – Grain sorghum yield, t/ha

№ варианта / № variant	Предшественник / Predecessor	Урожайность / Yield				
		2017 г. / 2017	2018 г. / 2018	2019 г. / 2019	2020 г. / 2020	Средняя / Average
1 (контроль) / 1 (control)	Озимая пшеница / Winter wheat	1,36	1,95	2,04	1,67	1,75
2	Озимая пшеница (солома) / Winter wheat (straw)	1,91	2,26	2,56	1,82	2,14
3	Яровая пшеница (солома) / Spring wheat (straw)	1,72	2,03	2,24	1,45	1,86
4	Горох (солома) / Peas (straw)	1,65	2,05	2,17	1,81	1,92
НСР ₀₅		0,10	0,14	0,11	0,15	0,09

Анализ данных таблицы 3 показал, что на протяжении исследуемого периода урожайность зернового сорго варьировала в зависимости от погодных условий. В наиболее благоприятном для роста 2019 году наблюдались максимальные показатели по всем вариантам (2,04-2,56 т/га), что указывает на важность увлажнения и температурного режима для формирования урожая данной культуры. В то же время 2017 и 2020 годы показали сниже-

ние урожайности во всех вариантах, соответственно до (1,36-1,91 т/га) и (1,45-1,82 т/га), что, вероятно, связано с менее благоприятными погодными условиями в ключевые фазы развития сорго.

В условиях агрофитоценоза применение различных предшественников для возделывания зернового сорго позволило существенно повысить его продуктивность в сравнении с контрольным вариантом, где в качестве предшествующей культуры использовалась озимая пшеница без внесения соломы. В контрольном варианте урожайность зернового сорго за весь исследуемый период составила в среднем 1,75 т/га, что оказалось минимальным значением среди всех изученных вариантов. Данный показатель связан с прогрессирующим истощением почвы вследствие отсутствия восполнения органического вещества, обусловленного изъятием растительных остатков из агроценоза. Наиболее высокая урожайность зернового сорго была достигнута при культивировании в варианте с предшественником «озимая пшеница с заделкой соломы», где она в среднем составила 2,14 т/га за анализируемый период, что свидетельствует о положительном влиянии внедрения органической массы в почвенное питание растений. Такой результат был достигнут благодаря более эффективному восполнению питательных элементов благодаря соломе озимой пшеницы, что способствовало оптимизации питания почвы. В варианте «яровая пшеница (солома)» средняя урожайность составила 1,86 т/га, что немного ниже, чем в случае с озимой пшеницей. Данное различие, вероятно, связано с менее развитой корневой системой яровой пшеницы и меньшим содержанием остаточного азота после нее по сравнению с озимой пшеницей. В варианте горох с внесением соломы средний показатель урожайности составлял 1,92 т/га. Горох как предшественник при благоприятных условиях мог способствовать обогащению почвы азотом за счет азотфиксирующих бактерий, что несколько компенсировало недостаток органики в стерне.

При анализе данных видно, что НСР (наименьшая существенная разность) варьирует от 0,09 до 0,15 т/га, что позволяет утверждать, что различия в урожайности между вариантами являются статистически значимыми. Это подтверждает, что предшественники оказали реальное влияние на урожайность зернового сорго.

Заключение. В условиях сухостепной зоны каштановой подзоны светло-каштановых почв Нижнего Поволжья для сохранения их плодородия необходимо использовать в агрофитоценозах агрокультуры, оставляющие значительное количество послеуборочных растительных остатков, богатых азотом, фосфором и калием. Озимая пшеница (с возвратом соломы, корневых и пожнивных остатков) является оптимальным предшественником зернового сорго. Также в полевых агрофитоценозах необходимо избегать полного удаления растительных остатков с поля, так как это приводит к истощению питательных веществ в почве. Наиболее эффективным вариантом повышения уровня питательных веществ в почве оказалось внесение соломы озимой пшеницы. Это позволило рекомендовать данный предшественник для улучшения агрохимических свойств почвы в агрофитоценозах. Для повышения урожайности зернового сорго и улучшения агроэкологического состояния почвы рекомендуется внедрять агротехнологии, предусматривающие возврат растительных остатков в верхний окультуренный почвенный слой, а также использование предшественников, способствующих накоплению в нем основных элементов питания, таких как озимая пшеница.

Conclusions. In the conditions of the dry steppe zone of the chestnut subzone of light chestnut soils of the Lower Volga region, in order to preserve their fertility, it is necessary to use agricultural crops in agrophytocenoses that leave a significant amount of post-harvest plant residues rich in nitrogen, phosphorus and potassium. Winter wheat (with return of straw, root and post-harvest residues) is the optimal predecessor for grain sorghum. Additionally, in field agrophytocenoses it is necessary to avoid the complete removal of plant residues from the field, as this leads to nutrient depletion in the soil. The most effective method for increasing the level of nutrients in the soil was the introduction of winter wheat straw. This allowed us to recommend this predecessor to improve the agrochemical properties of the soil in agrophytocenoses. To increase the yield of grain sorghum and improve the agroecological condition of the soil, it is recommended to introduce agricultural technologies that provide for the return of plant residues to the upper cultivated soil layer, as well as the use of predecessors that promote the accumulation of basic nutritional elements in it, such as winter wheat.

Библиографический список

1. Айтемиров А. А., Ханбабаев Т. Г., Бабаев Т. Т. Биологизация земледелия – один из резервов повышения плодородия почв. Известия Дагестанского ГАУ. 2019. № 1 (1). С. 103-109.
2. Коржов С. И., Трофимова Т. А., Котов Г. В. Влияние полевых культур и приемов биологизации на сохранение почвенного плодородия. Плодородие. 2017. № 6 (99). С. 25-28.

3. Никитина О. В., Стифеев А. И., Проскурин В. А. Проблемы биологизации земледелия в условиях Центрально-Черноземного региона. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 6-13.
4. Соколов М. С., Спиридонов Ю. Я., Глинушкин А. П. и др. Органическое удобрение – эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор ее супрессивности. Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 1. С. 4-12.
5. Воронов С. И., Плескачев Ю. Н., Зеленов А. В. и др. Анализ продуктивности агроценозов и трансформации плодородия почвы в условиях биологизации. Проблемы плодородия почв в современном земледелии: материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель. Красноярск, 2024. С. 151-154.
6. Кривцов И. В., Холод А. А., Сидоров А. Н. Ключевые элементы системы органического земледелия и специфика их регулирования. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Международной науч.-практ. конференции. Волгоград, 2021. С. 206-213.
7. Савина О. В., Макаров В. А., Макарова О. В. и др. Органические удобрения как фактор повышения плодородия почвы и эффективности растениеводства. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 4 (44). С. 53-59.
8. Зайцев С. А. Влияние соломы как органического удобрения на плодородие почв. Молодежь XXI века: шаг в будущее: материалы XXIV Региональной науч.-практ. конференции. Благовещенск, 2023. Т. 3. С. 190-191.
9. Наими О. И. Солома как фактор повышения плодородия почв. Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 3. С. 28-32.
10. Русакова И. В. Влияние длительного применения соломы и минеральных удобрений на биологические свойства дерново-подзолистой почвы. Агрохимия. 2017. № 8. С. 16-24.
11. Дудова Е. В. Сидеральный пар и солома зерновых культур как важнейший резерв органических удобрений. Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства юга России: материалы Всероссийской науч.-практ. конференции (с международным участием). Майкоп, 2018. С. 83-87.
12. Еремина Д. В. Агроэкономическое обоснование заделки соломы зерновых культур в Сибири. Агропродовольственная политика России. 2017. № 3 (63). С. 57-61.
13. Юмашев Х. С. Использование соломы для восполнения запасов органического вещества почвы в земледелии Челябинской области. АПК России. 2017. Т. 24. № 4. С. 954-959.
14. Ахмятова А. А., Савченко А. А. Процесс высвобождения питательных веществ из запаханной соломы на черноземе выщелоченном в условиях Северного Зауралья. АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1066-1070.
15. Зеленов А. В., Рябов В. С., Семинченко Е. В. Эффективность внесения соломы в качестве органического вещества при возделывании зернового сорго в Нижнем Поволжье. Научные исследования – сельскохозяйственному производству: материалы Международной науч.-практ. конференции. Орел, 2018. С. 13-19.
16. Куликова А. Х., Яшин Е. А., Яшин А. Е. Влияние соломы и сидерата на баланс элементов питания в черноземе типичном Среднего Поволжья. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (46). С. 79-84.
17. Бондаренко Н. А., Антонова О. И. Приемы повышения разложения соломы и обеспеченности питательными веществами. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 11-16.
18. Зеленов А. В., Уришев Р. Х., Семинченко Е. В. Содержание элементов питания в почве, урожайность зерновых культур в зависимости от предшественников и приемов биологизации в полевых севооборотах Нижнего Поволжья. Стратегия развития сельского хозяйства в современных условиях – продолжение научного наследия Листопада Г. Е., академика ВАСХНИЛ (РАСХН), доктора технических наук, профессора: материалы Национальной науч.-практ. Волгоград, 2019. С. 99-106.
19. Черноситова Т. Н., Пилецкая О. А. Агрохимические и биологические свойства почв при применении минеральных удобрений и соломы. Вестник Красноярского ГАУ. 2023. № 4 (193). С. 21-29.
20. Дедов А. В., Несмеянова М. А. Изучение влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 1 (64). С. 50-60.
21. Зеленов А. В., Уришев Р. Х. Предшественники зерновых культур в биологизированных севооборотах Нижнего Поволжья. Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: материалы Международной науч.-практ. конференции, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. главный редактор А. С. Овчинников. Волгоград, 2015. С. 122-128.
22. Махова А. В., Авдеенко С. С. Особенности использования побочной продукции растениеводства для биологизации земледелия и технологии возделывания зерновых культур. Проблемы технического сервиса в АПК: материалы Всероссийской науч.-практ. конференции. Кинель, 2020. С. 123-127.

References

1. Aitemirov A. A., Khanbabaev T. G., Babaev T. T. Biologization of agriculture is one of the reserves for increasing soil fertility. News of the Dagestan State Agrarian University. 2019. №. 1 (1). Pp. 103-109.
2. Korzhov S. I., Trofimova T. A., Kotov G. V. Influence of field crops and biologization techniques on the preservation of soil fertility. Fertility. 2017. №. 6 (99). Pp. 25-28.
3. Nikitina O. V., Stifeev A. I., Proskurin V. A. Problems of biologization of agriculture in the conditions of the Central Black Earth region. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021. №. 5. Pp. 6-13.
4. Sokolov M. S., Spiridonov Yu. Ya., Glinushkin A. P. et al. Organic fertilizer is an effective factor in soil improvement and an inductor of its suppressiveness. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32. №. 1. Pp. 4-12.
5. Voronov S. I., Pleskachev Yu. N., Zelenev A. V. et al. Analysis of the productivity of agroecosystems and transformation of soil fertility under biologization conditions. Problems of soil fertility in modern agriculture: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the development of virgin and fallow lands. Krasnoyarsk, 2024. Pp. 151-154.

6. Krivtsov I. V., Kholod A. A., Sidorov A. N. Key elements of the organic farming system and the specifics of their regulation. Innovative technologies in the agro-industrial complex in modern economic conditions: materials of the International scientific and practical conference. Volgograd, 2021. Pp. 206-213.
7. Savina O. V., Makarov V. A., Makarova O. V. et al. Organic fertilizers as a factor in increasing soil fertility and crop production efficiency. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. №. 4 (44). Pp. 53-59.
8. Zaitsev S. A. Effect of straw as an organic fertilizer on soil fertility. Youth of the XXI century: a step into the future: materials of the XXIV Regional scientific and practical conference. Blagoveshchensk, 2023. Vol. 3. Pp. 190-191.
9. Naimi O. I. Straw as a factor in increasing soil fertility. International Scientific Agricultural Journal. 2019. №. 3. Pp. 28-32.
10. Rusakova I. V. Effect of long-term use of straw and mineral fertilizers on the biological properties of sod-podzolic soil. Agrochemistry. 2017. №. 8. Pp. 16-24.
11. Dudova E. V. Green manure fallow and straw of grain crops as the most important reserve of organic fertilizers. Problems and prospects for the development of agriculture in the south of Russia: materials of the All-Russian scientific and practical conference (with international participation). Maykop, 2018. Pp. 83-87.
12. Eremina D. V. Agro-economic justification for plowing straw of grain crops in Siberia. Agro-food policy of Russia. 2017. №. 3 (63). Pp. 57-61.
13. Yumashev H. S. Use of straw to replenish soil organic matter reserves in agriculture in the Chelyabinsk region. AIC of Russia. 2017. Vol. 24. №. 4. Pp. 954-959.
14. Akhmyatova A. A., Savchenko A. A. The process of releasing nutrients from plowed straw on leached chernozem in the conditions of the Northern Trans-Urals. AIC of Russia. 2017. Vol. 24. №. 5. Pp. 1066-1070.
15. Zelenev A. V., Ryabov V. S., Semichenko E. V. Efficiency of straw application as organic matter in grain sorghum cultivation in the Lower Volga region. Scientific research for agricultural production: materials of the International scientific and practical conference. Orel, 2018. Pp. 13-19.
16. Kulikova A. Kh., Yashin E. A., Yashin A. E. Effect of straw and green manure on the balance of nutrients in typical chernozem of the Middle Volga region. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019. №. 2 (46). Pp. 79-84.
17. Bondarenko N. A., Antonova O. I. Methods for increasing straw decomposition and nutrient supply. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. №. 5 (199). Pp. 11-16.
18. Zelenev A. V., Urishev R. Kh. Predecessors of grain crops in biologized crop rotations of the Lower Volga region. Strategic development of the agro-industrial complex and rural territories of the Russian Federation in modern international conditions: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Victory in the Great Patriotic War of 1941-1945. Editor-in-chief A. S. Ovchinnikov. Volgograd, 2015. Pp. 122-128.
19. Chernositova T. N., Piletskaya O. A. Agrochemical and biological properties of soils when using mineral fertilizers and straw. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2023. №. 4 (193). Pp. 21-29.
20. Dedov A. V., Nesmeyanova M. A. Study of the influence of crop rotations on the content of soil organic matter and crop yields. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2020. Vol. 13. №. 1 (64) Pp. 50-60.
21. Zelenev A. V., Urishev R. Kh., Semichenko E. V. The content of nutrients in the soil, the yield of grain crops depending on predecessors and biologization techniques in field crop rotations of the Lower Volga region. The strategy for the development of agriculture in modern conditions is a continuation of the scientific legacy of Listopad G. E., academician of VASKhNIL (RAAS), doctor of technical sciences, professor: materials of the National scientific-practical. Volgograd, 2019. Pp. 99-106.
22. Makhova A. V., Avdeenko S. S. Features of the use of by-products of plant growing for the biologization of agriculture and technology of cultivation of grain crops. Problems of technical service in the agro-industrial complex: materials of the All-Russian scientific and practical conference. Kinel, 2020. Pp. 123-127.

Информация об авторах

Пакина Елена Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы" (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1647-9138>, e-mail: pakina_en@pfur.ru

Зеленев Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», (Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, 30, строение 1, офис 304); профессор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Ляшко Марина Устиновна, кандидат биологических наук, доцент агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5905-4738>, e-mail: lyashko_mu@pfur.ru

Терентьев Валентин Михайлович, ассистент агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы" (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2133-2683>, e-mail: terentyev_vm@pfur.ru

Терентьева Татьяна Сергеевна, магистрант агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы" (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1330-9111>, e-mail: tanyanazarenkoo@yandex.ru

Authors' Information

Pakina Elena Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Agrobiotechnology Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1647-9138>, e-mail: pakina_en@pfur.ru

Zelenev Aleksander Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, territory of the Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30, building 1, office 304); Professor of the Agrobiotechnology Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Lyashko Marina Ustimovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Agrobiotechnology Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5905-4738>, e-mail: lyashko_mu@pfur.ru

Terentyev Valentin Mikhailovich, Assistant of the Agrobiotechnological Department of the Agrarian and Technological Institute of the Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2133-2683>, e-mail: terentyev_vm@pfur.ru

Terentyeva Tatyana Sergeevna, student of the Agrobiotechnological Department of the Agrarian and Technological Institute of the Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1330-9111>, e-mail: tanyanazarenkoo@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-06

THE SOIL STRUCTURE OF CHESTNUT SOIL IN AGROFOREST LANDSCAPE OF DRY STEPPE**Fedotova A. V., Kucheroва A. N., Danchenko I. A.**

*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kucheroва-a@vfanc.ru

Received 21.01.2025

Submitted 14.04.2025

"The study was carried out within the framework of State Assignment No. 125021402228-3 'Theoretical Foundations and Methodology for Assessing Greenhouse Gas Balance in Freshwater Bodies of Southern Russia's Arid Zone'.

Abstract

Introduction. In the arid climate of southern Russia, agrogenic soils are prone to erosion processes, particularly deflation. To protect agricultural lands, shelterbelt forest strips are widely used, forming specific agroforestry landscapes. The aggregate state of soils largely determines fertility indicators, while changes in soil structure serve as an indicator of degradation processes. Given agricultural activity and the risk of land degradation, assessing soil aggregate composition is crucial for preventing erosion and enabling timely management decisions. The study area is the southern part of the Privolzhskaya Upland in Volgograd Oblast, characterized by an arid climate and distinct wind patterns. **Object.** The study focuses on agrogenic chestnut soils (Kastanozems) in the Ilovinsky District of Volgograd Oblast, located in the Volga-Ilovlya inter-fluve. A 60.3 hectare field, surrounded by shelterbelt forest strips on three sides, was selected. **Materials and methods.** Soil studies were conducted for two layers: 0-20 cm and 20-40 cm, corresponding to the root-inhabited zone. Aggregate composition was assessed via dry sieving (Savvinov's method). The content of agronomically valuable aggregates (0.25-10 mm) was evaluated using Dolgov's scale. Aggregate water stability was analyzed using Andrianov's method, based on soil aggregate disintegration in water. Topographic isopleths were constructed to visualize spatial variations in soil aggregate parameters. **Results and conclusions.** The study revealed spatial variability in the aggregate composition of agrogenic chestnut soils under agricultural use. Shelterbelt forest strips significantly influence soil structure preservation. Leeward of a well-preserved shelterbelt (northwest), a decline was observed in the structure coefficient, water-stable aggregates, and agronomically valuable aggregates, indicating soil structure deterioration. The most pronounced changes occurred in the 0-20 cm surface layer, exposed to external factors and mechanical tillage. The 20-40 cm layer exhibited higher aggregate water stability than the plow layer. Degraded shelterbelts with sparse vegetation (northeast) failed to provide adequate protection, evidenced by localized areas with poor structure coefficients and low water stability. Restoring shelterbelt systems in dry-steppe agrarian landscapes is critical for maintaining soil fertility, enhancing land productivity, and ensuring sustainable land use.

Keywords: *physical properties of soil, water regimes of soil, soil structure, arable chestnut soils.*

Citation. Fedotova A. V., Kucheroва A. N., Danchenko I. A. The soil structure of chestnut soil in agroforest landscape of dry steppe. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 55-65 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-06.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the final version presented.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.4

**АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ
СУХОЙ СТЕПИ**

Федотова А. В., доктор биологических наук, профессор
Кучерова А. Н., лаборант-исследователь
Данченко И. А., лаборант-исследователь

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. Задания № 125021402228-3 «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России».

Актуальность. В условиях засушливого климата в южных регионах России пахотные почвы подвержены эрозионным процессам, особенно дефляции. Для защиты сельскохозяйственных угодий широко используются полевые лесные полосы, формируются специфические агролесоландшафты. Агрегатное состояние почв во многом обуславливает показатели плодородия, а изменение структурности почвы является индикатором развития деградационных процессов. В условиях хозяйственной деятельности и риска развития деградации земель важно оценивать агрегатное состояние почв в целях предотвращения развития эрозионных процессов и принятия своевременных управленческих решений. В качестве территории исследования выбрана Южная часть Приволжской возвышенности Волгоградской области, характеризующаяся засушливым климатом и специфическим ветровым режимом. **Объект.** Объектом исследования выбраны пахотные каштановые почвы Иловлинского района Волгоградской области, расположенного в Волжско-Иловлинским междуречье. Участок (поле) площадью 60,3 га окружён лесными полевыми полосами с трёх сторон. **Материалы и методы.** Исследования почвы проводили послойно 0-20 см и 20-40 см, что соответствует корнеобитаемому слою. Агрегатное состояние почвы оценивали методом сухого просеивания по Саввинову. Содержание агрономически ценных агрегатов, диаметром 0,25-10 мм, оценивали по шкале Долгова. Водостойчивость агрегатов изучалась методом Андрианова, основанным на анализе распада почвенных агрегатов в воде. Для визуализации данных построены топографические изоплеты, что позволило изучить пространственное варьирование показателей агрегатного состояния почвы. **Результаты и выводы.** В результате установлено, что агрегатное состояние пахотной каштановой почвы при хозяйственном ее использовании имеет пространственную вариабельность в пределах поля. Показано, что состояние полевых лесных полос оказывает влияние на сохранение структуры почвы. С удалением лесополосы полнота насаждений в которой характеризуется как норма, с подветренной стороны (северо-запад), наблюдается уменьшение величины коэффициента структурности, содержания водопрочных и агрономически ценных агрегатов. То есть структурное состояние почвы ухудшается. Наиболее контрастные изменения характерны для поверхностного 0-20 сантиметрового слоя почвы, подверженного влиянию внешних факторов и механической обработки. В слое 20-40 см водостойчивость агрегатов выше, чем в пахотном. Полевые лесные полосы с изреженной растительностью (северо-восток) не выполняют в должной мере защитные функции, что подтверждается ухудшением агрегатного состояния почвы и появлением локальных участков с неудовлетворительными величинами коэффициента структурности и водопрочности агрегатов. Восстановление полевых лесных полос в агроландшафтах сухостепной зоны является важной задачей для сохранения почвенного плодородия, повышения продуктивности земель и обеспечения их устойчивого использования.

Ключевые слова: физические свойства почвы, водные режимы почвы, структура почвы, пахотные каштановые почвы.

Цитирование. Федотова А. В., Кучерова А. Н., Данченко И. А. Агрегатное состояние каштановой почвы агролесоландшафтов сухой степи. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 55-65. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-06.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Физические свойства почв играют важную роль в выполнении почвой своих биосферных функций и функционировании почвенного покрова. Неудовлетворительное физическое состояние почв является лимитирующим фактором роста и развития растений. Многие физические свойства зависят от структуры почвы, например, водный и

воздушный режимы, плотность, пористость и т.д. Кроме того, хорошее агрегатное состояние почвы обеспечивает устойчивость почвы к эрозионным процессам. В условиях значительной антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные угодья, особенно в регионах с засушливым климатом, необходимость в эффективных методах улучшения почвенных структурных характеристик возрастает. Для проведения агрономелиоративных мероприятий необходима оценка агрегатного состояния почвы. Известно, что полезащитные лесные насаждения оказывают некоторое влияние на почвенную структуру [1], способствуют сохранению структурности почв, особенно на агротрансформированных территориях [2]. Посадка лесных полос рядом с пашнями увеличивает устойчивость структурных агрегатов почвы, обеспечивая их долговременное сохранение [3].

Основным показателем агрегатного состояния почвы является коэффициент структурности, отражающий способность почвы сопротивляться физическому разрушению и воздействию внешних факторов. Содержание агрономически ценных агрегатов напрямую влияет на плодородие и водный режим почвы. В ряде исследований утверждается, что наличие лесомелиоративных насаждений значительно повышает долю агрономически ценных агрегатов, благодаря чему создаются оптимальные условия для аэрации и водообеспечения почвы [4, 5]. Кроме того, лесонасаждения улучшают водопрочные свойства почв даже на угодьях с тяжелым гранулометрическим составом, где почвы в противном случае склонны к структурному разрушению [6]. Показано, что на участках с лесонасаждениями водопрочность почвенных агрегатов выше, чем на контрольных участках без деревьев, что позволяет рекомендовать полезащитные насаждения в качестве эффективной меры для стабилизации почвенного покрова на сельскохозяйственных угодьях [1].

Водопрочность почвенных агрегатов является критически важным показателем для почв, подверженных сезонным колебаниям влажности и влиянию эрозии. Высаженные лесные полосы способствуют значительному увеличению доли водопрочных агрегатов, особенно в поверхностном слое почвы. Устойчивость к водной эрозии повышается за счет присутствия органического материала, выделяемого корневой системой лесонасаждений [8].

Особенность почв сухостепной зоны заключается в значительной подверженности эрозионным процессам, особенно дефляции. Скудный растительный покров и длительные сухие периоды способствуют выдуванию верхних слоев почвы, что требует внедрения мер и комплексных подходов по восстановлению их устойчивости к деградации, включая создание лесонасаждений, снижающие интенсивность ветровой эрозии за счет барьерного эффекта [2].

В условиях климатических изменений и развития деградационных процессов земель изучение агрегатного состояния пахотных почв позволит спланировать необходимые агрономелиоративные мероприятия для защиты почв от дефляции и минимизировать влияние негативных природных явлений, например, пыльных бурь. Почвы сухостепной зоны подвержены эрозии и уплотнению, что снижает их способность удерживать воду и снижает агропотенциал территории [10, 11].

Цель. Изучение агрегатного состояния пахотных каштановых почв агролесоландшафтов сухостепной зоны Волгоградской области.

Объекты и методы. Объектом исследования являлись пахотные почвы в сухостепной зоне Волгоградской области, в пределах Иловлинского района, близ села Качалино. Иловлинский район относится к степной зоне центральной части Волгоградской области. Расположен в Волжско-Иловлинском междуречье, в южной части Приволжской возвышенности на Донской гряде. Площадь исследуемого участка 60,3 га (рисунок 1).

Сухостепная зона Волгоградской области характеризуется резко континентальным климатом, низким уровнем осадков (среднегодовое количество осадков около 390 мм) и значительными сезонными температурными колебаниями., при этом летние месяцы часто характеризуются высокими температурами воздуха (более 40 °С), что приводит к интенсивному испарению почвенной влаги. В течение года преобладает восточный ветер.

Почвенный покров Иловлинского района представлен преимущественно каштановыми почвами. Почвы характеризуются хорошими агрономическими свойствами, однако их структура часто подвержена негативным изменениям из-за недостатка влаги и интенсивного сельскохозяйственного использования.



Рисунок 1 – Картосхема исследуемого поля с нанесенными на ней точками отбора почвенных проб
Figure 1 – Map scheme of the field under study with soil sampling points marked on it

Ведущими почвенными типами на объекте исследования являются каштановые и агрокаштановые почвы, которые характеризуются умеренным содержанием гумуса и недостатком подвижных форм азота и фосфора. Эти почвы нуждаются в мероприятиях по сохранению почвенной структуры для обеспечения устойчивости к деградационным процессам [12]. Сухой климат ограничивает процессы гумусообразования и аккумуляции органического вещества, из-за чего применение лесомелиоративных насаждений становится актуальным для поддержания устойчивости структуры почвенных агрегатов и повышения водопропускности [1].

Растительный покров включает степные и полупустынные виды, среди которых доминируют злаковые травы и полынь.

Исследуемая территория окружена лесомелиоративными насаждениями с трех сторон – с северо-запада, юго-востока и северо-востока. Северо-восточная лесополоса характеризуется малой полнотой насаждений, юго-восточная – очень высокой, а северо-западная лесополоса соответствует общепринятым нормам.

С января по сентября 2022 года пахотный участок был оставлен под паром, что представляет собой важную агротехническую практику для восстановления структуры и повышения плодородия почвы. С сентября 2022 года по июль 2023 года на исследуемом поле была посеяна и выращена озимая пшеница. После сбора урожая в июле 2023 года на участке была проведена механическая обработка почвы.

Для отбора почвенных проб использовали метод равномерной сетки с шагом 50 м (рисунок 1). В узлах сетки (45 точек) почвенные пробы отбирали по слоям 0-20 и 20-40 см. Получен массив экспериментальных данных структурировали по слоям и трансектам (А, В, С, D).

Агрегатное состояние почвы оценивали методом сухого просеивания (по Саввинову), который позволяет определить содержание почвенных агрегатов различных размеров, их стабильность и устойчивость к механическим воздействиям. Метод основан на разделении сухих почвенных образцов с помощью набора сит с разными диаметрами ячеек, что позволяет изучить распределение агрегатов по размеру.

Расчет коэффициента структурности проводился по известной формуле:

$$K_{\text{стр}} = \frac{\sum(10 - 0,25 \text{ мм})}{\sum(> 10 \text{ мм}, < 0,25 \text{ мм})}$$

где: $K_{\text{стр}}$ – коэффициент структурности почвенных агрегатов; $\sum(10-0,25 \text{ мм})$ – сумма мезоагрегатов, %; $\sum(>10 \text{ мм}, <0,25 \text{ мм})$ – сумма макро- и микроагрегатов в почве, %.

Содержание агрономически ценных почвенных агрегатов определяли по шкале Долгова. Агрегаты, диаметр которых от 0,25 до 10 мм, наиболее устойчивы к механическим и водным воздействиям, их наличие способствует сохранению структуры и плодородия почвы. Методика Долгова позволяет систематизировать данные о содержании устойчивых агрегатов.

Водоустойчивость почвенной структуры оценивали по методу Андрианова, основанному на скорости распада почвенных агрегатов диаметром 3-5 мм в стоячей воде в определенные интервалы времени. Этот метод позволяет определить устойчивость почвенных агрегатов к размыванию и распаду под воздействием воды, что важно для понимания способности почвы противостоять эрозионным процессам и оценке, насколько почва способна сохранять свою структуру при увлажнении.

Оценка коэффициента водопрочности (K_v) почвенных агрегатов проводилась по шкале (таблица 1).

Таблица 1 – Шкала оценки коэффициента водопрочности почвенных агрегатов, %

Table 1 – Scale for assessing the coefficient of water resistance of soil aggregates, %

Коэффициент водопрочности (K_v) / Water resistance coefficient (WRC)	Оценка водопрочности / Assessment of water resistance
80-100	Высокая / High
60-79	Средняя / Medium
40-59	Низкая / Low
<40	Очень низкая / Very low

Для визуализации пространственного распределения были построены топографические изоплеты (рисунки 2-4).

Результаты. Анализ данных проводили по слоям 0-20 и 20-40 см и трансектам с учетом удаленности от северо-западной полевозащитной лесополосы.

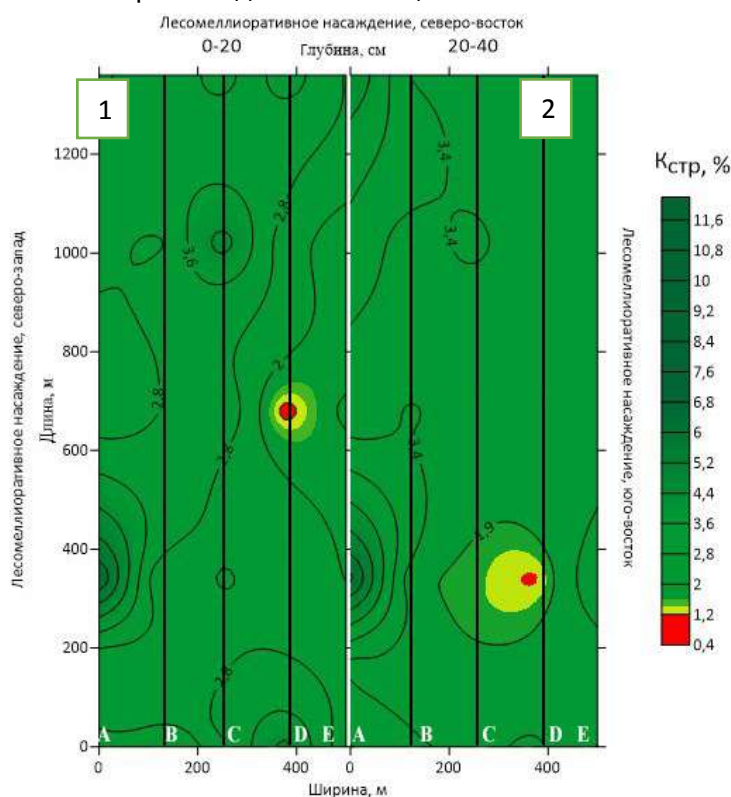


Рисунок 2 – Топографические изоплеты распределения величины коэффициента структурности почвы (%) в слое 0-20 см (1) и 20-40 см (2)

Figure 2 – Topographic isopleths of the distribution of the value of the soil structurality coefficient (%) in the layer 0-20 cm (1) and 20-40 cm (2)

Почва по трансекте А, находящаяся непосредственно в лесополосе, в слое 0-20 см (рисунок 2.1) характеризуется значениями коэффициента структурности от 2,09 до 6,97, что соответствует уровню агрегатного состояния почвы «отличное» и указывает на высокую структурированность почвы. На трансекте В (150 м лесополосы), значения $K_{стр}$ также находятся преимущественно в категории «отличное» ($K_{стр}$ от 1,98 до 3,46), но средневзвешанное значение $K_{стр}$ здесь ниже, чем для трансекты А. Возможно, это как раз связано с ослаблением влияния северо-западной лесополосы. На трансекте С (300 м от лесополосы), коэффициент структурности поверхностного слоя почвы варьирует от 2,04 до 4,87, что соответствует категории агрегатного состояния «отличное». Но сохранилась тенденция уменьшения среднего значения, что подтверждает постепенное ослабление защитного эффекта лесополосы с увеличением расстояния. На трансекте D (450 м от лесополосы) показатели $K_{стр}$ варьируют от 0,85 до 4,75, при этом появляются локальные участки с «удовлетворительным» и «неудовлетворительным» уровнем агрегатного состояния. На трансекте Е, самой удаленной от лесополосы (600 м), коэффициент структурности значительно ниже, чем на других трансектах (от 1,50 до 2,71). Большинство значений соответствуют категории агрегатного состояния «хорошее».

Таким образом, коэффициент структурности почвы в поверхностном слое 0-20 см постепенно снижается с увеличением расстояния от северо-западной лесополосы. Наиболее высокий уровень агрегированности почвы наблюдается непосредственно в лесной полосе, по мере удаления от нее структурное состояние ухудшается, значит, влияние лесопосадок уменьшается.

На глубине 20-40 см (рисунок 2.2) по трансектам от северо-западной лесополосы (трансекта А) до трансекты Е общая тенденция к снижению $K_{стр}$ по мере удаления от северо-западной лесополосы сохраняется. Так на трансекте А, значения коэффициента структурности находятся в диапазоне от 1,91 до 11,72. Большинство значений указывают на «отличное» структурное состояние почвы в слое 20-40 см. По трансекте В значения варьируют от 2,17 до 3,51, при этом все показатели находятся в категории агрегатного состояния «хорошее» и «отличное». На трансекте С величины $K_{стр}$ варьируют от 1,40 до 3,85. Большинство значений соответствуют категории агрегатного состояния «хорошее». На трансекте D выявлена наибольшая вариабельность величин $K_{стр}$: от 0,45 до 3,57. На самой удаленной трансекте Е наблюдаются более низкие значения $K_{стр}$ (от 1,64 до 4,76), при этом основная часть показателей соответствует «хорошему» уровню агрегатного состояния.

Изменение агрегатного состояния на исследуемом участке происходит вследствие механической обработки почвы и внешнего воздействия, в основном процессов дефляции почвы. Анализ полученных результатов позволяет предположить, что полезащитные лесополосы также оказывают влияние на структурность почвы в зависимости от полноты насаждений. Так, для изреженной лесополосы с северо-восточной стороны не установлено положительных изменений величин коэффициента структурности почвы. Напротив, с приближением к ней структурность почвы ухудшалась. Этот эффект обусловлен тем, что северо-восточная лесополоса значительно более прорежена, по сравнению с северо-западной, хуже защищает от ветров и не создает достаточной защиты от ветровой эрозии.

Сравнение значений коэффициента структурности почвы по трансектам показало, что юго-восточная лесополоса, несмотря на высокую полноту насаждений, выполняет свои функции ограниченно.

Анализ результатов определения доли агрономически ценных почвенных агрегатов (ЦПА) в слое почвы 0-20 см показал, что в целом для исследуемой территории характерна высокая доля ЦПА (рисунок 3.1), что говорит о «хорошей» и «отличной» устойчивости почвенной структуры. Вблизи северо-западной лесополосы (трансекта А) содержание ЦПА находится на уровне «хорошо» и «отлично». На трансектах В и С наблюдаются в основном высокие значения доли ЦПА. На этих трансектах сохраняется «хорошее» и «отличное» агрегатное состояние.

На трансектах D и Е доля агрономически ценных агрегатов снижается до 45,82 %, что оценивается как «удовлетворительно». Очевидно, полнота лесополосы с северо-восточной стороны недостаточна для обеспечения оптимальной защиты почвы от дефляционных процессов.

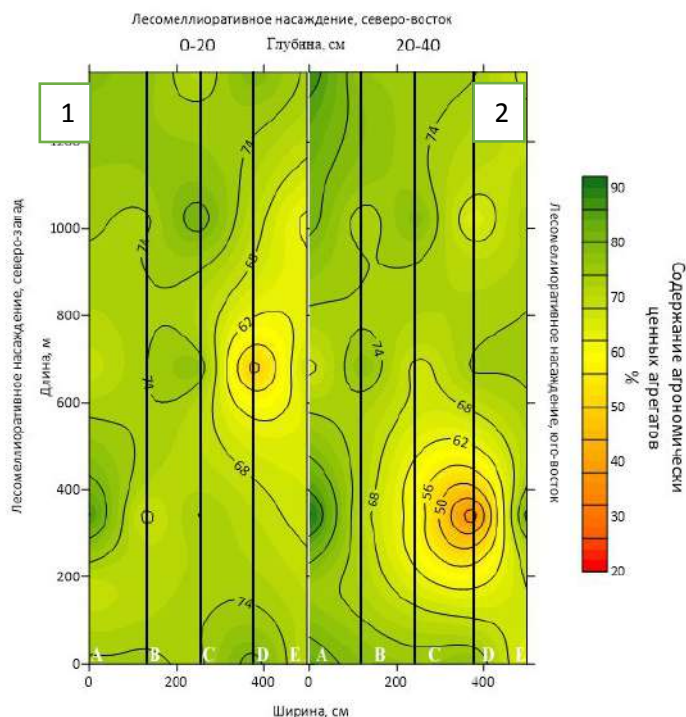


Рисунок 3 – Топографические изоплеты распределения показателей агрономически ценных почвенных агрегатов (%), в слое 0-20 см (1) и 20-40 см (2)

Figure 3 – Topographic isopleths of the distribution of indicators of agronomically valuable soil aggregates (%), in the layer 0-20 cm (1) and 20-40 cm (2)

На глубине 20-40 см (рисунок 3.2) доля агрономически ценных почвенных агрегатов в основном довольно высокая, особенно рядом с северо-западной лесополосой. По трансекте А показатели содержания ЦПА от 83,22 % до 92,14 %, что соответствует высокой устойчивости почвенной структуры. По трансектам В и С доля ЦПА в основном выше 70 %. Однако встречаются участки с более низкими значениями (58,28 %). По трансектам D и E наблюдается значительная вариабельность содержания ЦПА. Локально доля ЦПА снижается до 31,07 %, что оценивается как «плохое» и указывает на деградацию структуры на этом участке. Отметим, что данные участки находятся на трансектах с зонами нарушений лесополос, отсутствия или очень малой плотности насаждений.

Сравнение содержания агрономически ценных агрегатов на глубинах 0-20 см и 20-40 см показывает, что в среднем на глубине 20-40 см доля ЦПА выше, особенно рядом с северо-западной лесополосой (например, точка А3: 87,46 % на 0-20 см и 92,14 % на 20-40 см). На глубине 20-40 см вариабельность величин возрастает, особенно на трансектах D и E.

На глубине 0-20 см вариабельность доли ЦПА в почве значительно меньше, вероятно, за счет воздействия механической обработки.

От водопрочности почвенных агрегатов зависит устойчивость почвы к эрозии, степень её уплотнения и способность поддерживать водно-воздушный режим, необходимый для роста растений.

В слое 0-20 см почвы (рисунок 4) по трансекте А (непосредственно в лесополосе) коэффициент водопрочности агрегатов «высокий» и «средний», что обеспечивает более высокую устойчивость к водной эрозии. Значения K_v варьируются от низких (например, на глубине 20-40 см у участка А2 – 36,04 %) до очень высоких (например, на глубине 0-20 см у участка А9 – 82,42 %). На большинстве участков наблюдается либо постепенное увеличение водопрочности с глубиной (например, А1, А7), либо её снижение (например, А3, А9).

Коэффициент водопрочности на трансекте В характеризуется резким ухудшением значений, классифицирующихся «очень низкими». Однако встречаются локальные участки, которые оцениваются «низкой» или «средней» водопрочностью почвенных агрегатов. Значения K_v варьируются от крайне низких (например, на глубине 0-20 см у участка В3 – 14,02 %) до относительно высоких (например, на глубине 0-20 см у участка В7 – 42,27 %).

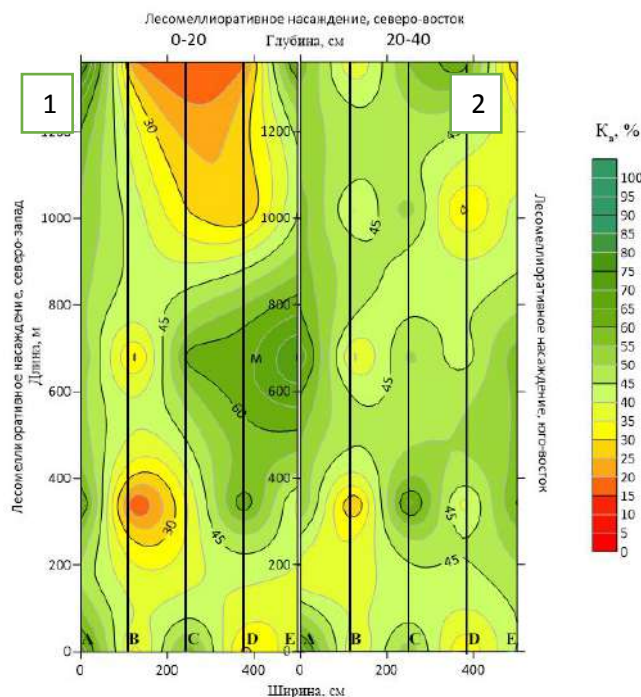


Рисунок 4 – Топографические изоплеты распределения показателя водопрочности почвенных агрегатов на исследуемом поле (%) в слое 0-20 см (1) и 20-40 см (2)

Figure 4 – Topographic isopleths of the distribution of the water resistance index of soil aggregates in the study field (%) in the layer 0-20 cm (1) and 20-40 cm (2)

Почвенные агрегаты трансекты С имеют «низкий» и «средний» коэффициент водопрочности. Особенно явно ухудшение показателя наблюдается у северо-восточной лесополосы с «очень низкой» (18,60 %) характеристикой значения водоустойчивости почвенной структуры. Значения K_w варьируются от очень низких до относительно средних (например, на глубине 20-40 см у участка С3 – 67,46 %). На обезлесенных участках эрозионные процессы имеют большое распространение, понижая продуктивность почвы и вызывая развитие деградационных процессов.

Значения K_w на участке D варьируются от очень низких (например, на глубине 0-20 см у участка D9 – 18,13 %) до относительно средних (например, на глубине 0-20 см у участка D3 – 63,66 %). По мере приближения к северо-восточным полезащитным лесонасаждениям происходит резкое понижение коэффициента водопрочности до 18,13-24,85 %, характеризующийся как «очень низкий». Это связано с дефляционными процессами в результате сильной изреженности юго-восточной лесополосы, что приводит к выдуванию мелких частиц из почвы и разрушению агрегатов, уменьшая их стабильность и водопрочность.

Пахотный слой трансекты Е характеризуется «средней» и «высокой» водопрочностью агрегатов. Однако на пересечении северо-восточной и юго-восточной лесонасаждений наблюдается снижения значения K_w почвенных агрегатов, который оценивается как «очень низкий». Значения K_w варьируются от очень низких (например, на глубине 20-40 см у участка Е9 – 24,45 %) до средних (например, на глубине 0-20 см у участка Е5 – 75,82 %).

Большинство образцов имеют среднюю или низкую водопрочность. Высокие значения водопрочности наблюдаются только на некоторых участках, таких как А9 0-20 см (82,42 %) и Е5 0-20 см (75,82 %). Это может быть связано с благоприятными условиями для формирования стабильных агрегатов, такими как высокое содержание органического вещества и оптимальные климатические условия.

Для участка А1 наблюдается повышение водопрочности с увеличением глубины: 68,98 % (0-20 см), 69,07 % (20-40 см). Однако для других участков, таких как В1, наблюдается обратная зависимость: 32,58 % (0-20 см), 35 % (20-40 см). Эти различия могут быть связаны с особенностями почвенного профиля и влиянием внешних факторов, таких как рельеф местности и тип растительности.

Участки трансект А и Е в целом демонстрируют более высокие значения водопрочности, что может быть связано с благоприятными условиями для формирования стабильных агрегатов. Напротив, участки с трансект В, С и D часто имеют более низкие значения водопрочности, что может указывать на проблемы с плодородием или деградацией почвенной структуры.

Участки, находящиеся у северо-восточной лесополосы, показали самые низкие значения коэффициента водопрочности. При оценке содержания водопрочных агрегатов большая часть образцов (57,69 %) имела удовлетворительный коэффициент водопрочности почвенных агрегатов. Это говорит о том, что исследуемый участок обладает хорошими свойствами структурной стабильности почвенных агрегатов.

При сравнении величин водопрочности почвенных агрегатов на глубинах 0-20 см и 20-40 см наблюдается улучшение Кв с глубиной. Глубинные слои почвы находятся в более стабильных условиях влажности и температуры, чем поверхностные слои. Это помогает поддерживать стабильную структуру агрегатов и предотвращает их разрушение [15].

Поскольку почва в естественных условиях часто подвергается воздействию воды, её способность сохранять агрегированную структуру влияет на многие важные функции. Агрегаты с хорошей водопрочностью лучше сохраняют свою форму и структуру при увлажнении, что способствует сохранению пористости и аэрируемости почвы, облегчает водо- и воздухообмен и помогает корневым системам растений, способствует развитию микробиоты и других почвенных организмов, что, в свою очередь, улучшает общее состояние экосистемы.

Заключение. Таким образом, результаты исследования позволили установить, что агрегатное состояние пахотной каштановой почвы в условиях засушливого климата и хозяйственного использования в целом оценивается как «отличное» и «хорошее», имеет пространственную вариабельность в пределах поля. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что полезащитные лесонасаждения оказывают влияние на агрегатное состояние почвы в зависимости от своего состояния и полноты насаждений. Наибольший эффект в плане защиты от ветровой эрозии и, соответственно, сохранения почвенного агрегатного состояния оказывают насаждения с подветренной полосы (в данном случае северо-западная) с нормальной полнотой насаждений. С удалением от лесополосы характеристики структуры почвы ухудшаются, уменьшается величина коэффициента структурности, снижается доля водопрочных и агрономически ценных агрегатов. Наиболее подвержен изменениям агрегатного состояния слой 0-20 см за счет внешнего воздействия природных и антропогенных факторов. В слое 20-40 см водостойчивость агрегатов выше, чем в пахотном.

Полезащитные лесополосы с изреженной растительностью (северо-восток) не выполняют в должной мере свои защитные функции, особенно противодефляционные. С приближением к нарушенной изреженной лесополосе структура почвы начинает ухудшаться, снижается коэффициент структурности и уменьшается содержание водопрочных агрегатов, что говорит о развитии деградационных процессов. Это в первую очередь связано с выдуванием тонкодисперсных фракций почвы. Отмечены локальные участки с неудовлетворительным агрегатным состоянием.

Восстановление полезащитных лесополос в агроландшафтах сухостепной зоны является важной задачей для сохранения почвенного плодородия, повышения продуктивности земель и обеспечения их устойчивого использования.

Восстановление полезащитных лесополос и регулирование плотности лесонасаждений играет ключевую роль в поддержании требуемых структурных характеристик почвы, особенно в сухостепных агроландшафтах при дефиците почвенной влаги и высокой дефляционной опасности.

Conclusions. Thus, the results of the study made it possible to establish that the aggregate state of arable chestnut soil in an arid climate and economic use is generally assessed as "excellent" and "good" has spatial variability within the field. The analysis of the experimental data obtained showed that field-protective forest plantations have an impact on the aggregate state of the soil depending on their condition and the completeness of the plantations. The greatest effect in terms of protection against wind erosion and, accordingly, the preservation of the soil aggregate state is exerted by plantations from the leeward strip (in this case, the north-western) with normal fullness of plantings. With the distance from the forest belt, the characteristics of the soil structure deteriorate, the value of the structurality coefficient decreases, and the share of water-resistant and agronomically valuable aggregates decreases. The layer of 0-20 cm is most susceptible to changes in the state of aggregation due to the external influence of natural and anthropogenic factors. In the 20-40 cm layer, the water resistance of the aggregates is higher than in the arable layer.

Field-protective forest belts with sparse vegetation (northeast) do not properly perform their protective functions, especially anti-deflationary ones. With the approach to the disturbed thinned forest belt, the soil structure begins to deteriorate, the coefficient of structure decreases and the content of water-resistant aggregates decreases, which indicates the development of degradation processes. This is primarily due to the blowing of finely dispersed soil fractions. Local areas with an unsatisfactory state of aggregation were noted.

Restoration of field-protective forest belts in the agrolandscapes of the dry steppe zone is an important task for preserving soil fertility, increasing land productivity and ensuring their sustainable use. Restoration of field-protective forest belts and regulation of forest density plays a key role in maintaining the required structural characteristics of the soil, especially in dry steppe agricultural landscapes with a shortage of soil moisture and high deflationary danger.

Библиографический список

1. Абдусаламова Р. Р., Баламирзоева З. М. Методы защиты почвы от водной и ветровой эрозии. Вестник Социально-педагогического института. 2021. № 4 (40). С. 30-40.
2. Ивонин В. М. Эрозия почв при талом стоке на склонах с лесными полосами. Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 2. С. 126-143.
3. Апарин Б. Ф., Мингареева Е. В. Среднесрочные изменения агрегатного состава чернозема южного под влиянием лесонасаждений государственной лесополосы Пенза-Каменск. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1 (73). С. 31-42.
4. Громовик А. И., Королев В. А., Йонко О. А. Влияние полевых защитных лесных полос на основные показатели плодородия почв каменной степи. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2013. № 1. С. 105-114.
5. Оценка роли лесополос в оптимизации почв и ландшафтов: литературный обзор сведений. Региональные геосистемы. 2019. № 2. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-rol-lesopolos-v-optimizatsii-pochv-i-landshaftov-literaturnyy-obzor-svedeniy>.
6. Трофимов И. Т. и др. Влияние лиственных лесных насаждений на физические свойства почв. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (111). С. 034-039.
7. Балакай Н. И. Мероприятия по снижению водной эрозии почв. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сборник статей. Новочеркасск, 2010. № 43. С. 93-98.
8. Баасандорж Я., Дэлгэрцэцэг Р., Баярбат Г., Билгуун О., Золзая Н., Гуркова Е. А., Андроханов В. А., Жеребцов С. И. Влияние степени деградации каштановых почв сухостепной зоны Монголии на их устойчивость и гумусное состояние. Достижения науки и техники АПК. 2019. № 7.
9. Беляков А. М., Кошелев А. В. Особенности проявления деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны Волгоградской области. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 120-130.
10. Шемет С. Ф., Нестерова Е. Н. Разработка мероприятий по восстановлению деградированных земель в Ростовской области. Экономика и экология территориальных образований. 2017. № 1. С. 104-109.
11. Гордиенко О. А., Кулик А. В., Шайфуллин М. Р. Зависимость морфологии агрокаштановых почв сухостепной зоны от микрорельефа. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 153-164.
12. Михин В. И., Михина Е. А. Агроресомелиорация в условиях адаптивно – ландшафтного земледелия Центрального Черноземья. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16890>

References

1. Abdusalamova R. R., Balamirzoeva Z. M. Methods of soil protection from water and wind erosion. Bulletin of the Socio-Pedagogical Institute. 2021. № 4 (40). Pp. 30-40.
2. Ivonin V. M. Soil Erosion with Melt Runoff on Slopes with Forest Belts. Land reclamation and hydraulic engineering. 2021. V. 11. № 2. Pp. 126-143.
3. Aparin B. F., Mingareeva E. V. Medium-term Changes in the Aggregate Composition of Southern Black Earth Under the Influence of Forest Plantations of the Penza-Kamensk State Forest Belt. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. № 1 (73). Pp. 31-42.
4. Gromovik A. I., Korolev V. A., Yonko O. A. Influence of Field-Protective Forest Belts on the Main Indicators of Soil Fertility of the Stone Steppe. Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2013. № 1. Pp. 105-114.
5. Assessment of the role of forest belts in the optimization of soils and landscapes: a literature review of information. Regional geosystems. 2019. № 2. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-rol-lesopolos-v-optimizatsii-pochv-i-landshaftov-literaturnyy-obzor-svedeniy>
6. Trofimov I. T. et al. Influence of deciduous forest plantations on the physical properties of soils. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2014. № 1 (111). Pp. 034-039.
7. Balakay N. I. Measures to reduce water erosion of soils. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture: a collection of articles. Novocherkassk, 2010. № 43. Pp. 93-98.
8. Baasandorj Y., Delgertsetseg R., Bayarbat G., Bilguun O., Zolzaya N., Gurkova E. A., Androkhonov V. A., Zharebtsov S. I. Influence of the degree of degradation of chestnut soils in the dry steppe zone of Mongolia on their stability and humus state. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2019. № 7.
9. Belyakov A. M., Koshelev A. V. Features of Degradation Processes in Agrolandscapes of the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region. Arid ecosystems. 2023. V. 29. № 1 (94). Pp. 120-130.
10. Shemet S. F., Nesterova E. N. Development of Measures for the Restoration of Degraded Lands in the Rostov Region. Economics and Ecology of Territorial Entities. 2017. № 1. Pp. 104-109.

11. Gordienko O. A., Kulik A. V., Shaifullin M. R. Dependence of the morphology of agrochestnut soils of the dry steppe zone on microrelief. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. № 4 (68). Pp. 153-164.

12. Mikhin V. I., Mikhina E. A. Agroforestry in the Conditions of Adaptive Landscape Agriculture of the Central Black Earth Region. Modern problems of science and education. 2014. № 6. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16890>

Информация об авторах

Федотова Анна Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Кучерова Арина Николаевна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: 0009-0005-1101-4357, e-mail: kucherova-a@vfanc.ru

Данченко Иван Алексеевич, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: 0009-0007-4726-7529, e-mail: danchenko-i@vfanc.ru

Authors' Information

Fedotova Anna Vladislavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97), ORCID: 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Kucherova Arina Nikolaevna, laboratory assistant-researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97), ORCID: 0009-0005-1101-4357, e-mail: kucherova-a@vfanc.ru

Danchenko Ivan Alekseevich, laboratory assistant, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97), ORCID: 0009-0007-4726-7529, e-mail: danchenko-i@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-07

SCIENTIFICALLY BASED MEASURES TO COMBAT WATER EROSION ON AGRICULTURAL LANDS OF THE KAZANKA RIVER BASIN

Angold Ye. V., Kireicheva L. V.

*Federal scientific center of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: angold-elena@mail.ru, kireychevalw@mail.ru

Received 31.03.2025

Submitted 13.05.2025

The studies were carried out within the theme FGUF-2022-0001: To develop models of biosphere nature management optimization for efficient use of climatic, land and water resources in natural-climatic zones of the European part of Russia, technologies of creation and management of ameliorative regimes providing increase of soil energy potential due to regulation of water and biogenic substances flows.

Summary

The article proposes the following measures to reduce degradation processes and preserve soil cover: creation of buffer strips of perennial grasses in crop rotations, grassing of hayfields and pastures, creation of additional water-regulating forest strips, afforestation, hydromeliorative methods.

Abstract

Introduction. The main causes of soil erosion, in addition to climate and terrain, are irrational use of the territory, untimely and improper tillage, destruction of woody and herbaceous vegetation, violation of agrotechnical anti-erosion measures, arbitrary placement of field roads, intensive land use, eventually accompanied by a decrease in the infiltration and water-holding capacity of soils. **Object.** The object of research is the basin of the Kazanka River, on the lands of which the development of erosion processes is observed. **Materials and methods.** In the course of the research, for each sub-basin and sub-sub-basins of the Kazanka River basin, using GIS, space images (Landsat), available geographical maps and schemes, the areas of land use structure were determined, and a map of the environmental stability of the Kazanka River basin at the current moment was developed (developer Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov). Based on the study of domestic and world experience aimed at improving the culture of farming, highlighting the measures of erosion control, including agrotechnical, forest ameliorative, hydraulic and organisational measures, the need to implement a set of measures for the effective protection of agricultural land from erosion is justified. **Results and conclusion.** Within the complex of erosion control measures to improve the current environmental situation, the first-priority erosion control measures are preventive organisational measures, including the creation of buffer strips and hayfields grassing, to reduce negative soil washing away and prevent its degradation due to the destruction and depletion of soil cover caused by the development of water erosion, it is recommended to reconstruct existing forest belts, design and create additional forest belts. Calculation of economic efficiency of agroforestry-reclamation measures has shown that the costs of grassing perennial grass areas of hayfields and introduction of additional areas for protective forest plantations pay off within 5-7 years.

Keywords: soil erosion, anti-erosion measures, reclamation measures, monitoring of the condition of agricultural lands.

Citation. Angold Ye. V, Kireicheva L. V. Scientifically based measures to combat water erosion on agricultural lands of the Kazanka River basin. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 65-74 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-07.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.6.02

НАУЧНО ОБОСНОВАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С ВОДНОЙ ЭРОЗИЕЙ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ БАСЕЙНА РЕКИ КАЗАНКА

Ангольд Е. В., кандидат технических наук
Кирейчева Л. В., доктор технических наук, профессор

ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Москва, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения темы FGUF–2022–0001: Разработать модели оптимизации биосферного природопользования для эффективного использования климатических, земельных и водных ресурсов в природно-климатических зонах европейской части России, технологии создания и управления мелиоративными режимами, обеспечивающими повышение энергетического потенциала почвы за счет регулирования потоков воды и биогенных веществ.

Актуальность. Основными причинами появления эрозии почв, помимо климата и рельефа местности, являются нерациональное использование территории, несвоевременная и неправильная обработка почвы, уничтожение древесной и травянистой растительности, нарушение агротехнических противоэрозионных мероприятий, произвольное размещение полевых дорог, интенсивное землепользование, в конечном итоге сопровождающиеся снижением инфильтрационной и водопоглощающей способности почв. **Объект.** Объектом исследований является бассейн р. Казанка, на землях которого наблюдается развитие эрозионных процессов. **Материалы и методы.** В ходе исследований для каждого подбассейна и входящих в них субподбассейнов бассейна р. Казанка с помощью GIS, космоснимков (Landsat), имеющихся географических карт и схем были определены площади по структуре землепользования, а также разработана карта экологической стабильности бассейна реки Казанка на текущий момент (разработчик ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова»). На основании изучения отечественного и мирового опыта, направленного на улучшение культуры земледелия, освещению мер борьбы с эрозией, включающих агротехнические, лесомелиоративные, гидротехнические и организационные мероприятия, обоснована необходимость реализации комплекса мероприятий по эффективной защите сельскохозяйственных угодий от эрозии. **Результаты и выводы.** В рамках комплекса противоэрозионных мероприятий для улучшения текущей экологической ситуации первоочередными мерами по борьбе с эрозией являются превентивные организационные мероприятия, включающие создание буферных полос и залужение сенокосов для снижения негативного смыва почвы и предотвращения ее деградации в связи с разрушением и истощением почвенного покрова, вызванного развитием водной эрозии; рекомендуется провести реконструкцию действующих лесополос, проектирование и создание дополнительных лесополос. Расчет экономической эффективности агролесомелиоративных мероприятий показал, что затраты на залужение многолетними травами площадей сенокосов и введение дополнительных площадей для защитных лесонасаждений окупаются уже в течение 5-7 лет.

Ключевые слова: почвенная эрозия, противоэрозионные мероприятия, мелиоративные мероприятия, мониторинг состояния сельскохозяйственных земель.

Цитирование. Ангольд Е. В., Кирейчева Л. В. Научно обоснованные мероприятия по борьбе с водной эрозией на сельскохозяйственных землях бассейна реки Казанка. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 65-74. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-07.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одной из причин сокращения сельскохозяйственных угодий или снижения их продуктивности является процесс деградации почв. Сочетание интенсивных агротехнологий, нерациональных методов ведения хозяйства, выпадения экстремальных осадков, а также топографические условия, которые наблюдаются на сельскохозяйственных землях, приводят к эрозии почвы. Эрозия почвы – важнейшая экологическая проблема во всех

ландшафтных зонах мира, которая наносит существенный ущерб как природным, так и управляемым агроэкосистемам. Интенсивность водной эрозии в агроландшафтах, с одной стороны, ограничивает возможности устойчивого сельскохозяйственного производства, а с другой – нарушает экологическое равновесие геосистем [1]. В результате эрозии верхний слой почвы в мире уменьшился на 24 миллиона тонн за последнее столетие, а согласно прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, к 2050 году около 90 % верхнего слоя почвы Земли будет подвержено эрозии, что подчеркивает острую необходимость применения методов устойчивого управления земельными ресурсами [2].

Анализ данных государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения на территориях субъектов РФ, выполненных в 2022 г. на площади 9 357,09 тыс. га, показал, что наибольшее развитие среди негативных процессов получила водная эрозия, составившая 1 421,13 тыс. га, в том числе наиболее подвержены эрозионным процессам 519,99 тыс. га земель Приволжского федерального округа [3]. Распределение общей площади сельскохозяйственных угодий по степени эродированности по данным 2022 года представлено на рисунке 1.

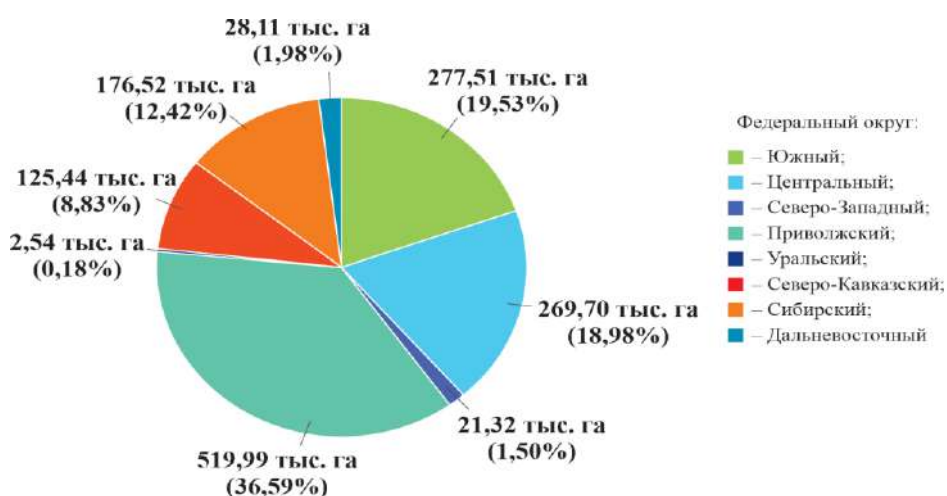


Рисунок 1 – Распространение выявленной водной эрозии почв по федеральным округам Российской Федерации (по результатам обследования 2022 г.) [3]

Figure 1 – Distribution of detected water erosion of soils by Federal Districts of the Russian Federation (based on the results of the survey 2022) [3]

По степени смытости площади сельскохозяйственных угодий в Российской Федерации по данным 2022 года распределены следующим образом (рисунок 2) [3].

Ежегодно в результате водно-эрозионных процессов сельскохозяйственные угодья России теряют более 500 млн тонн наиболее плодородной части почвы [1].



Рисунок 2 – Распределение площадей по степени эродированности почв РФ (данные 2022 г.) [3]

Figure 2 – Distribution of areas by degree of soil erosional feature in the Russian Federation (data of 2022) [3]

Проблеме развития эрозии и разработке мер борьбы с ней посвящены многочисленные труды отечественных ученых. Так, например, М. Н. Заславский свои труды посвящал важнейшим вопросам эрозиоведения, большое внимание уделял основным принципам защиты почв от эрозии, методическим вопросам проектирования и оценки эффективности противоэрозионных мероприятий; Г. П. Сурмач (Сурмач Г. П., 1977) на основании многолетних исследований и обобщения литературных источников теоретически и экспериментально обосновал ряд агротехнических и лесомелиоративных приемов задержания и регулирования стока талых и ливневых вод и уменьшения эрозии в районах с выраженным рельефом; В. А. Шевченко, А. М. Соловьев и др. [4] рассматривают вопросы, касающиеся проблемы снижения урожайности сельскохозяйственных культур на почвах разной степени эродированности, и предлагают меры для предотвращения развития эрозии. В Татарстане такие ученые, как Р. А. Медведева, О. П. Ермолаев [5], А. Б. Александрова [6], М. М. Хисматуллин и др. [7] посвятили свои работы прогрессирующей деградации почвенного покрова в Республике Татарстан (РТ). Площадь земель сельскохозяйственных угодий в Татарстане по данным на 2023 год составила 4 292,4 тыс. га, из которых площадь пашни составляет 3 255,9 тыс. га, пастбища и сенокосы – 1 006,2 тыс. га, многолетние насаждения – 29,6 тыс. га и залежи – 0,7 тыс. га. Основными типами почв в Татарстане, в том числе и на территории бассейна реки Казанка, являются серые лесные и дерново-подзолистые с низким содержанием гумуса [8, 6]. В республике наблюдается высокая распаханность территории, что наряду с низкой облесенностью пашни, которая составляет 4,7 % и невысоким показателем лесистости региона, является веской причиной развития активных процессов водной эрозии.

В Татарстане свыше 70 % площади сельхозугодий расположено на склонах различной крутизны. В связи с тем, что территория РТ отличается большой расчлененностью, доля эродированных земель из года в год продолжает увеличиваться, ежегодно весенними талыми водами и ливневыми стоками в среднем смывается до 22 т/га плодородной почвы, а из-за роста оврагов выводится из сельхозоборота более 1 тыс. га сельхозугодий [7, 8].

Эрозия в значительной степени меняет структуру почвенного покрова и приводит к снижению почвенного плодородия. Ключевыми факторами, приводящими к деградации агрофизических свойств, являются почвообработка с нарушением оптимальных сроков, незначительное заделывание в почву органических удобрений, отсутствие или низкая доля многолетних трав в севообороте, а также эксплуатация в течение последних лет сельскохозяйственных земель товаросельхозпроизводителями без проектов землеустройства [8].

Зарубежные ученые [9] в своей работе выделили три основные задачи: во-первых, влияние эрозии на продуктивность почвы с особым акцентом на климат, переуплотнение почвы и развитие почвенной корки, а также потери углерода из почвы; во-вторых, осветили вопросы землепользования и эрозии почвы с упором на потери почвы на сельскохозяйственных землях, на землях с кустарниковой и лесной растительностью. И, в-третьих, влияние растительного покрова на эрозию почвы с указанием факторов, влияющих на растительность, растительный покров и биоразнообразие. Ученые из Словакии в своей работе описывают необходимые защитные меры по предотвращению эрозии, такие как мульчирование, возделывание сельскохозяйственных культур и обработка почвы. Также они считают наиболее эффективным методом полосное земледелие, при котором полосы должны располагаться перпендикулярно склону и параллельно контурным линиям с максимальным отклонением в 30° от контурных линий. Данное мероприятие согласно расчетам авторов позволит уменьшить эрозию до приемлемого уровня и снизить уровень пикового стока до 14 % [10].

Борьба с эрозией почвы включает экономические, организационные, агротехнические, лугомелиоративные, лесомелиоративные и гидромелиоративные меры, осуществление которых должно предотвратить отрицательные последствия всех видов природно-хозяйственной деятельности и повысить продуктивность земель. Разрушение почвенного покрова может протекать очень быстро, особенно при неумелом вмешательстве человека. Между тем на восстановление 2,5 см почвенного покрова согласно данным Х. Беннета (Беннет Х. Х., 1958) требуется при хорошем растительном покрове от 300 до 1000 лет.

Цель настоящих исследований – обоснование комплекса мероприятий по борьбе с водной эрозией на сельскохозяйственных землях водосбора с помощью научно обоснованного комплекса мероприятий по регулированию смыва почвы.

Материалы и методы. Объект исследований – бассейн реки Казанка, расположенный на северо-западе Предкамья Республики Татарстан. Река Казанка является левым притоком р. Волга и протекает по территориям Арского и Высокогорского муниципальных районов (рисунок 3). Географический центр бассейна реки Казанка находится в низовьях правобережной части бассейна р. Красная [11].

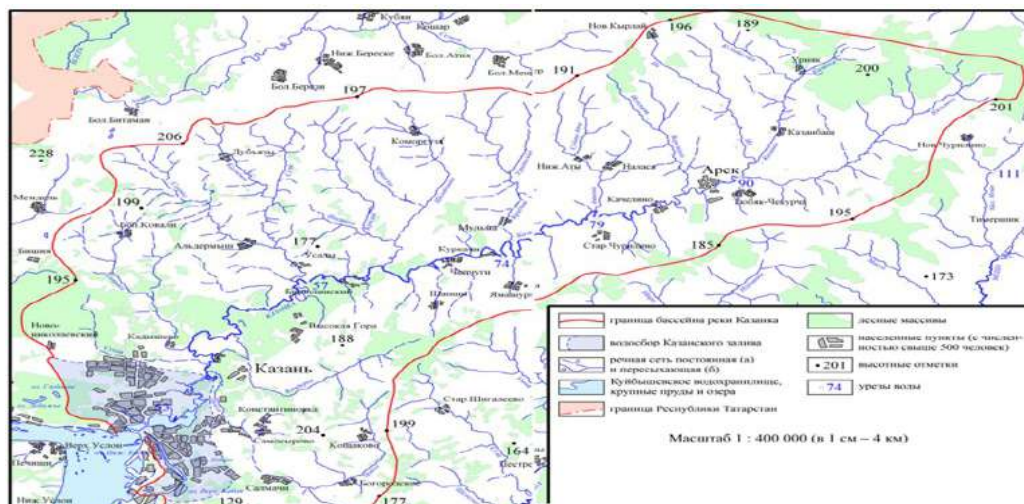


Рисунок 3 – Карта бассейна реки Казанка [11]

Figure 3 – Map of the Kazanka River Basin [11]

ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» в составе ГИС-проекта с применением OSM и SRTM карт, опираясь на данные Минсельхоза РТ и имеющиеся географические карты, выделена площадь водосбора р. Казанка, составляющая 200241 га, и для дифференцированного подхода к назначению мероприятий бассейн был разделён на 8 подбассейнов. В бассейне р. Казанка практически все компоненты ландшафта вовлечены в хозяйственную деятельность. Информация о современном использовании водосбора представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Структура хозяйственной деятельности в бассейне р. Казанка

Table 1 – Structure of economic activity in the Kazanka River basin

Подбассейн / Sub-pool	Сцен, км ² / area of hay-fields km ²	Спаш, км ² / arable land km ²	Слес, км ² / area of the forest km ²	Свод, км ² / water bodies km ²	Сгор, км ² / area of settlements km ²	Sop, км ² / irrigated land km ²	Sarea, км ² / total area km ²	Средний уклон, грд / Average gradient, grd
Сула / Sula	33,13	213,19	17,53	0,11	7,10	0,00	271,21	3,46
Шимьяковка / Shimyakovka	33,68	206,77	12,69	0,21	5,12	0,00	258,59	2,81
Красная / Krasnaya	19,42	116,80	2,72	0,00	4,73	0,93	144,65	2,33
Атынка / Atinka	16,10	103,26	2,06	0,01	4,40	3,70	129,61	2,25
Верезенка / Verezenka	8,56	69,16	10,61	0,04	5,51	2,42	96,39	2,25
Ия / Iya	9,44	90,08	7,81	0,02	6,46	2,22	116,165	1,9
Кисьмесь / Kismes	18,35	183,82	85,77	0,86	8,95	3,31	301,27	1,93
Казанка / Kazanka	40,65	452,44	129,53	2,98	51,92	6,61	684,52	2,39
Итого / Total	179,33	1435,51	268,72	4,23	94,19	19,19	2002,41	

Примечание: Сцен – площадь сенокосов; Спаш – площадь пашни; Слес – площадь леса; Свод – площадь водных объектов; Сгор – площадь поселений; Sop – площадь орошаемых земель; Sarea – общая площадь. Note: Sen is the area of hayfields; Spash is the area of arable land; Forest is the area of the forest; Svod is the area of water bodies; Sgor is the area of settlements; Sop is the area of irrigated land; Sarea – total area.

Сильная расчлененность рельефа, высокая распаханность земель, достигающая 70 % (площадь пашни составляет 143551 га), мелкая контурность распространения лесов (всего 140 га одного изолированного лесного массива) способствуют развитию эрозионных процессов в бассейне р. Казанка. Преобладающие серые лесные, светло-серые лесные и дерново-подзолистые почвы с содержанием гумуса от 3 до 5 % создают положительную тенденцию для значительного смыва, возможного как летом, так и весной. Средняя и правобережная часть бассейна р. Казанка характеризуется наибольшей густотой оврагов и овражно-балочной сети, которой благоприятствует большая длина склонов, в связи с чем обеспечиваются условия для сосредоточения поверхностного стока [11, 6]. Высокие значения взвешенных веществ р. Казанка в половодье и паводок согласно данным Центрального и Северного отделов ГБУ «НПО Геоцентр РТ» Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан также являются подтверждением развития эрозионных процессов на водосборе (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика взвешенных веществ в р. Казанка (мг/л)

Table 2 – Dynamics of suspended solids in the Kazanka River (mg/l)

Дата взятия пробы (месяц, год) / Date of sample collection (month, year)	Верхняя часть бассейна р. Казанка (Казанбаш) / Upper part of the basin of the Kazanka (Kazanbash) river	Средняя часть бассейна р. Казанка (Куркачи) / Middle part of the Kazanka (Kurkach) river basin	Средняя часть бассейна р. Казанка (Чепчуги) / Middle part of the Kazanka (Chepchuga) river basin	Нижнее устье р. Каймарка / Lower mouth of the Kaimarka River
02.2022	16,8	7,5	8,3	6,4
03.2022	49,5	8,4	12,3	11,2
04.2022	76,4	10,3	16,8	17,7
05.2022	144	10,2	12,3	11,3
06.2022	37,7	8,0	9,2	9,6
07.2022	32,5	10,7	11,6	10,2
08.2022	42,1	8,6	9,4	8,4
09.2022	27,3	9,0	9,3	8,6
10.2022	41,2	10,1	9,6	8,8
11.2022	48,0	10,6	8,4	10,2

Таким образом, согласно исследованиям автора [12] бассейну р. Казанка присуща сильная и очень сильная эрозия почв. В другой работе, Ермолаев О. П. и Мальцев К. А. [5] рассчитали потенциальный смыв почвы за год с целью территориального планирования противоэрозионных мероприятий, наибольшее значение которого характерно для верхнего и среднего течения р. Казанка и находится в пределах 5-10 т/га в год. На основе данных подтипов почв для Республики Татарстан были определены допустимые потери почвы, согласно которым на крутых склонах долин нижнего и среднего течения реки Казанка потенциальный смыв превышает допустимые потери почв более чем на 1,5 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Допустимые потери почвы [8]

Table 3 – Allowable soil losses [8]

Подтип почв / Subtype of soils	Плотность, г/см ³ / Density, g/cm ³	Допустимый смыв, т/га/год / Permissible flush, t/ha/year
Дерново-подзолистые / Sod-podzolic	1,2	3,6
Дерново-карбонатные типичные / Sod-carbonate typical	1,2	6,0
Дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные / Sod-carbonate leached and podzolized	1,2	4,8
Светло-серые лесные / Light Grey Forest	1,2	4,8
Серые лесные / Forest Gray	1,2	4,8

В ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» с использованием Методики (Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов, 2013) разработана карта экологической стабильности бассейна реки Казанка в современном состоянии (рисунок 4), на основании которой рекомендован комплекс противоэрозионных мероприятий в разрезе подбассейнов.

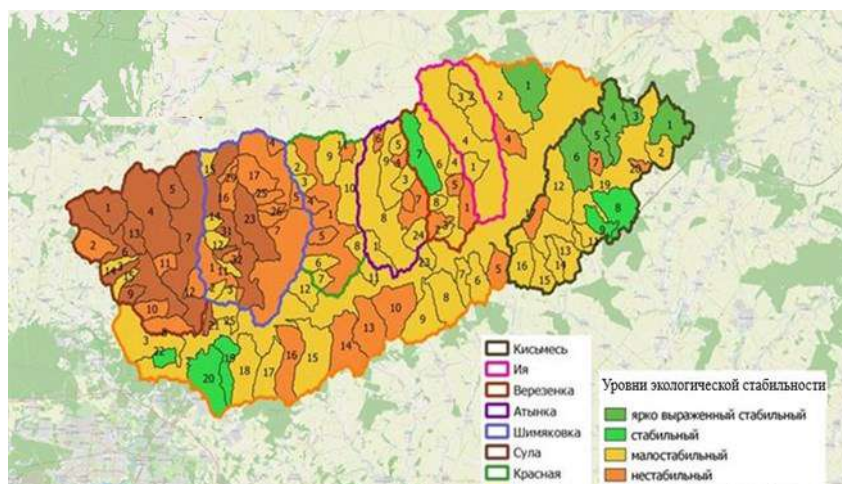


Рисунок 4 – Карта экологической стабильности бассейна реки Казанка в современном состоянии
Figure 4 – Map of ecological stability of the Kazanka River basin in the current state

Результаты и обсуждение. На водосборе реки Казанка наблюдаются поверхностная эрозия на сельскохозяйственной пашне, линейная эрозия на склонах выше 3 градусов, что способствует оврагообразованию и обрушению берегов; сточные воды с животноводческих ферм и сельскохозяйственных предприятий вызывают линейную эрозию, приводящую к образованию промоин. Все это определяет разносторонность и комплексность проведения противозерозионных мероприятий. Процессы эрозии начинаются уже на слабополгих склонах. Уклон местности в 2-4 градуса увеличивает смыв почвы почти в 2 раза по сравнению с нулевой поверхностью. По данным исследований Е. В. Полуэктова (Полуэктов Е. В., 2003) рост уклона с 4 до 8 градусов увеличивает смыв в 7,2 раза. С увеличением крутизны склона скорость стекания поверхностных вод, а следовательно, и интенсивность эрозии возрастают.

Основой комплекса мероприятий по борьбе с эрозией почв в бассейне р. Казанка является противозерозионная организация территории на землях сельскохозяйственного назначения с учетом рельефа и потенциальной опасности проявления эрозии, включающая создание буферных полос и залужение сенокосов. Важнейшее значение играет экологический каркас водосбора, в частности, залесенность. Для ландшафтов среднего Поволжья залесенность составляет 17 %, в бассейне реки Казанки покрытость лесом составляет всего 15 %. Как отмечается в работе [8], потенциальные потери почвы зависят от залесенности территории, в связи с чем необходимо восстановление действующих лесных полос и проектирование дополнительных водорегулирующих, приовражных лесополос, залесение действующего лесного массива. На склонах с большими уклонами и наличием процессов оврагообразования рекомендуется выполнить гидромелиоративные мероприятия. На рисунке 5 приведен дифференцированный комплекс противозерозионных мероприятий по подбассейнам реки Казанки.

Наиболее подверженными развитию эрозии являются подбассейны Сула и Шимяковка, где наряду с организационными, агротехническими, агромелиоративными мероприятиями требуется устройство гидротехнических сооружений для снижения эрозионных процессов. В подбассейне Казанка на большей части территории необходимо предусмотреть восстановление действующих лесных полос и введение дополнительных площадей для защитных лесонасаждений и сплошного облесения оврагов. В подбассейне Красная имеется риск развития оврагов, в связи с чем рекомендуется предусмотреть закрепление оврагов и освоение их под лес. Так как наиболее крупные лесные массивы сохранились в подбассейне Кисьмесь [11], то там в качестве основных противозерозионных мероприятий рекомендуется размещение буферных полос в севооборотах и залужение за счет посева многолетних трав. Расчет экономической эффективности, выполненный путем сопоставления всех затрат на создание дополнительных лесных полос и залужение и возможного дохода от снижения экологического ущерба показал, что срок окупаемости после проведения необходимых противозерозионных мероприятий составит от 5 до 7 лет.

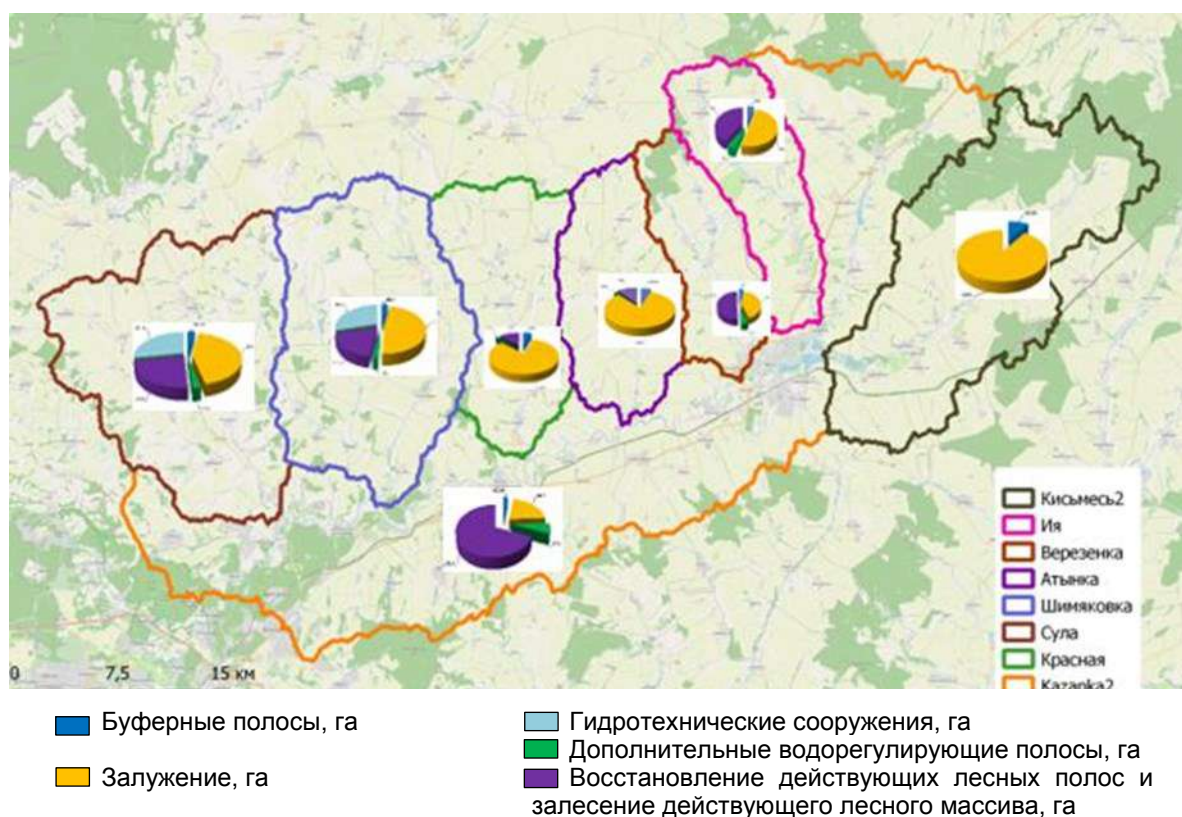


Рисунок 5 – Распределение площадей по мероприятиям в бассейне р. Казанка в разрезе подбассейнов
Figure 5 – Distribution of areas by measures in the Kazanka River basin by sub-basin

Заключение. Выполненный анализ литературных источников показал, что проблема эрозии почв остро стоит в мире и России и наносит существенный ущерб сельскому хозяйству и экологии, снижая устойчивость и продуктивность агроландшафтов и, как следствие, приводит к значительным потерям сельскохозяйственной продукции. Первоочередной задачей является разработка схемы размещения всего комплекса противоэрозионных и защитных мероприятий. Во всех подбассейнах р. Казанка основой комплекса мероприятий по борьбе с эрозией почв является противоэрозионная организация территории на землях сельскохозяйственного назначения с учетом рельефа местности и существующего экологического каркаса. Для снижения потенциальной опасности проявления эрозии разработаны и широко используются лесомелиорации, включая создание буферных полос и залужение. На землях сельскохозяйственного назначения широко применяются агротехнические мероприятия, которые не требуют капитальных затрат и дают противоэрозионный эффект в первый год их применения.

На основе тщательного изучения собранных материалов, карты крутизны склонов, почвенной характеристики в бассейне реки Казанка, обоснован комплекс противоэрозионных и защитных мероприятий дифференцировано к каждому подбассейну. С целью снижения деградационных процессов и сохранения почвенного покрова предложены следующие мероприятия: создание буферных полос многолетних трав в севооборотах на площади 1435,52 га, залужение сенокосов и пастбищ – 17933 га, создание дополнительных водорегулирующих лесных полос – 1829,5 га, залесение – 18295 га, гидромелиоративные приемы на площади 4199,6 га.

Conclusions. The analysis of literature sources has shown that the problem of soil erosion is acute in the world and Russia and causes significant damage to agriculture and ecology, reducing the stability and productivity of agrarian landscapes and, as a consequence, leads to significant losses of agricultural products. The first priority is to develop a scheme for the location of the entire range of erosion control and protection measures. In all sub-basins of the Kazanka River, the basis for the complex of measures to combat soil erosion is the anti-erosion organization on agricultural land, taking into account the terrain and the existing ecological framework. To reduce the potential danger of erosion, forest reclamation, including the creation of buffer strips and grassing, has been developed and is widely used. Agrarian and technical measures are widely used on agricultural lands, which do not require capital expenditures and produce an erosion control effect in the first year of their application.

On the basis of careful study of collected materials, slope steepness plan, soil characteristics in the basin of the Kazanka River. The complex of anti-erosion and protective measures was substantiated differentiated for each sub-basin. In order to reduce degradation processes and preserve soil cover, the following measures are proposed: creation of buffer strips of perennial grasses in crop rotations on the area of 1435.52 ha, grassing of hayfields and pastures – 17933 ha, creation of additional water-regulating forest strips – 1829.5 ha, afforestation – 18295 ha, hydro ameliorative methods on the area of 4199.6 ha.

Библиографический список

1. Buryak Z. A., Narozhnyaya A. G., Gusarov A. V., Beylich A. A. Solutions for the Spatial Organization of Cropland with Increased Erosion Risk at the Regional Level: A Case Study of Belgorod Oblast, European Russia. Land. 2022. No 11 (9).
2. Zhang L., Haseeb M., Zainab T., Tariq A., Almutairi K. F., Soufan W. Assessment of soil erosion dynamics and implications for sustainable land management: A case study using the RUSLE model. International Journal of Sediment Research. 2024.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 372 с.
4. Рекомендации по предотвращению деградации почв и охране окружающей природной среды для условий сухостепной зоны России. М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2023. 40 с.
5. Медведева Р. А., Ермолаев О. П. Районирование овражной эрозии в регионе Среднего Поволжья. Почвоведение. 2023. С. 1285-1298.
6. Александрова А. Б. Противозерозионная устойчивость почв в бассейне р. Казанка. Чистая вода. Казань: сборник трудов IX международного конгресса. Казань: Новое знание, 2018. С. 76-78.
7. Хисматуллин М. М. и др. Противозерозионная мелиорация в Республике Татарстан. Вестник Казанского ГАУ. 2022. Т. 17. № 2. С. 47-54. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/52365/view>.
8. О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году: Государственный доклад. Казань, 2024. 399 с. <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad-2023.htm>.
9. Zuazo V. H. D., Rodriguez C. Soil-Erosion and Runoff Prevention by Plant Covers: A Review. Agronomy for Sustainable Development. 2008. № 28 (1).
10. Labat M. M., Korbefová L., Kohnová S., Hlavčová K. Design of measures for soil erosion control and assessment of their effect on the reduction of peak flows. An International Journal for Engineering and Information Sciences. 2018. V. 13. No 3. Pp. 209-219.
11. Мозжерин В. И., Ермолаев О. П., Мозжерин В. В. Река Казанка и ее бассейн: монография. Казань: Orange key, 2012. 280 с.
12. Ермолаев О. П. Геоинформационное картографирование эрозии почв в регионе Среднего Поволжья. Почвоведение. 2017. № 1. С. 1-15.

References

1. Buryak Z. A., Narozhnyaya A. G., Gusarov A. V., Beylich A. A. Solutions for the Spatial Organization of Cropland with Increased Erosion Risk at the Regional Level: A Case Study of Belgorod Oblast, European Russia. Land. 2022. No 11 (9).
2. Zhang L., Haseeb M., Zainab T., Tariq A., Almutairi K. F., Soufan W. Assessment of soil erosion dynamics and implications for sustainable land management: A case study using the RUSLE model. International Journal of Sediment Research. 2024.
3. Report on the state and use of agricultural land in the Russian Federation in 2022. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2023. 372 p.
4. Recommendations for the prevention of soil degradation and environmental protection for the conditions of the dry steppe zone of Russia. Moscow: FGBNU "FNTS VNIIGiM named after A. N. Kostyakov", 2023. 40 p.
5. Medvedeva R. A., Ermolaev O. P. Zoning of Ravine Erosion in the Middle Volga Region. Soil science. 2023. Pp. 1285-1298.
6. Aleksandrova A. B. Anti-erosion stability of soils in the Kazanka River basin. Pure water. Kazan: Proceedings of the IX International Congress. Kazan: New Knowledge, 2018. Pp. 76-78.
7. Khismatullin M. M. et al. Anti-erosion reclamation in the Republic of Tatarstan. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2022. V. 17. № 2. Pp. 47-54. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/52365/view>.
8. On the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2023: State report. Kazan, 2024. 399 p. <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad-2023.htm>
9. Zuazo V. H. D., Rodriguez C. Soil-Erosion and Runoff Prevention by Plant Covers: A Review. Agronomy for Sustainable Development. 2008. № 28 (1).
10. Labat M. M., Korbefová L., Kohnová S., Hlavčová K. Design of measures for soil erosion control and assessment of their effect on the reduction of peak flows. An International Journal for Engineering and Information Sciences. 2018. V. 13. No 3. Pp. 209-219.
11. Mozzherin V. I., Ermolaev O. P., Mozzherin V. V. Kazanka River and its Basin: Monograph. Kazan: Orange key, 2012. 280 p.
12. Ermolaev O. P. Geoinformation Mapping of Soil Erosion in the Middle Volga Region. Soil science. 2017. № 1. Pp. 1-15.

Информация об авторах

Ангольд Елена Владимировна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44), SPIN-код: 5626-1260; AuthorID: 927399; Scopus: 56436764200, e-mail: angold-elena@mail.ru
Кирейчева Людмила Владимировна, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44), e-mail: kireychevalw@mail.ru

Authors' Information

Angold Yelena Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Federal scientific center of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 125008, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Street, 44), SPIN- code of the author: 5626-1260; AuthorID: 927399; Scopus: 56436764200, e-mail: angold-elena@mail.ru

Kireicheva Lyudmila Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the scientific direction, Federal scientific center of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 125008, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Street, 44), e-mail: kireychevalw@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-08

THE METHOD FOR DETERMINING TOTAL NITROGEN IN THE ANIMAL BY-PRODUCTS BY THE HIGH-TEMPERATURE OXIDATION USING THE TOPAZ-NC DEVICE**Vasilev E. V., Chernikova M. V., Shalavina E. V., Vasileva N. S.**

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) –
the branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Saint Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: shalavinaev@mail.ru

Received 22.01.2025

Submitted 05.05.2025

The study was a part of research work FGUN-2022-0010 “To develop environmentally friendly technologies, complexes of machines and equipment for managing agricultural ecosystems in intensive and organic agricultural production”.

Summary

The study identified the most appropriate conditions for the extraction of total nitrogen from a solid sample of processed animal by-products based on poultry manure into the liquid phase. This was done on the sample preparation stage for further analysis of the resulting liquid sample on Topaz-NC analyzer. The conditions identified were the moisture content of the dry sample; the particle size of the sample for the greatest extraction; the choice of solvent and its best concentration; the ratio of solvent to extracted substance; the extraction time and process temperature; and the speed of rotation of the mixing unit.

Abstract

Introduction. The accurate determination of the total nitrogen content of animal by-products is essential for their effective fertilizing application. The high temperature oxidation method offers significant advantages over the widely used Kjeldahl method in terms of processing speed and environmental safety. However, it is limited to liquid samples. Both research and practical applications require the analysis of both solid and liquid animal by-products. Therefore, we proposed to substantiate and develop an original methodology for the quantitative determination of total nitrogen by high temperature oxidation, focusing on specific sample processing protocols. **Materials and methods.** The study determined the best conditions for transferring total nitrogen from solid samples to the liquid phase by an extraction method for later analysis on Topaz-NC analyser. The study used two solid samples of processed animal by-products based on poultry manure. The initial moisture content was 46.33 % in the first sample and 66.67 % in the second sample. **Results and Conclusion.** The study identified the most appropriate conditions for preparing processed animal by-products samples by extraction. These include the use of pre-dried samples ground to a particle size of 1 mm; application of a 1:10 hydromodule ratio with 0.1 mol/L hydrochloric acid concentration; sample preparation at 75 °C for 20 minutes; extraction sequence of 60 minutes with 0.1 mol/L hydrochloric acid followed by 60 minutes with deionized water (for water-soluble protein extraction); and a mixing speed of 800 rpm. Statistical comparison between the Kjeldahl method and the developed method using Student's t-test showed no systematic error component, confirming the representativeness of the results for the samples of processed animal by-products based on poultry manure. For other types of animal by-products, further research and possible adaptation of the extraction parameters are required.

Keywords: animal by-products, total nitrogen, extraction process, recycling of animal waste.

Citation. Vasilev E. V., Chernikova M. V., Shalavina E. V., Vasileva N. S. The method for determining total nitrogen in the animal by-products by the high-temperature oxidation using the Topaz-NC device. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 74-86 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-08.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.171

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО АЗОТА В ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТАХ
ЖИВОТНОВОДСТВА МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕНИЯ
НА ПРИБОРЕ «ТОПАЗ-НС»**

Васильев Э. В., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Черникова М. В., заведующая сектором аналитических методов инженерной экологии
Шалавина Е. В., кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Васильева Н. С., младший научный сотрудник

*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала
Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Исследования проведены в рамках НИР FGUN-2025-0010 «Разработать экологически чистые технологии, комплексы машин и оборудования для управления сельскохозяйственными экосистемами при интенсивном и органическом производстве сельскохозяйственной продукции».

Актуальность. Точное определение общего азота в побочных продуктах животноводства способствует эффективному применению их в качестве органических удобрений. По сравнению с широко применяемым для этого методом Кьельдаля метод высокотемпературного окисления имеет ряд преимуществ по скорости и экологичности процесса. Однако он работает только на жидких пробах. Учитывая, что в исследованиях и на практике необходимо выполнять анализы проб не только жидких, но и твердых побочных продуктов животноводства, предложено обосновать и разработать оригинальную методику количественного определения содержания общего азота в побочных продуктах животноводства методом высокотемпературного окисления в части специальной подготовки проб для анализа. **Материалы и методы.** В рамках исследования определялись оптимальные условия перевода общего азота из твердого образца в жидкую фазу методом экстрагирования на этапе подготовки проб для дальнейшего анализа полученного жидкого образца на анализаторе «Топаз-НС». Исследования проводились на двух твердых образцах переработанных побочных продуктов животноводства на основе куриного помета. Исходная влажность первого образца составляла 46,33 %, второго – 66,67 %. **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований обоснованы следующие особенности подготовки проб переработанных побочных продуктов животноводства методом экстрагирования: использование пробы в предварительно подсушенном состоянии с измельчением частиц до 1 мм; применение гидромодуля 1:10 и концентрация соляной кислоты 0,1 моль/л; проведение подготовки проб при оптимальной температуре 75 °С в течение 20 минут; время экстрагирования – 60 минут соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л, затем 60 минут водой деионизованной (водорастворимые белки извлекали водой); скорость перемешивания – 800 оборотов в минуту. При сравнении результатов, полученных при анализе общего азота методом Кьельдаля и с применением разработанной методики по критерию (t-теста) Стьюдента установлено, что систематическая составляющая погрешности отсутствует, следовательно, результаты исследования проб переработанных побочных продуктов животноводства на основе куриного помета являются репрезентативными. Для иных видов побочных продуктов животноводства необходимы дополнительные исследования и, при необходимости, внесение корректировок параметров экстракции азота.

Ключевые слова: *побочные продукты животноводства, общий азот, процесс экстрагирования, переработка отходов животноводства.*

Цитирование. Васильев Э. В., Черникова М. В., Шалавина Е. В., Васильева Н. С. Методика определения общего азота в побочных продуктах животноводства методом высокотемпературного окисления на приборе «Топаз-НС». *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 74-86. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-08.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В Указе Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» отмечено, что одним из таких направлений является высокопродуктивное и устойчивое к изменениям природной среды сельское хозяйство, а в перечень важнейших наукоемких технологий входят мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и изменения климата, которые невозможны без расчета эмиссии парниковых газов во всех отраслях народного хозяйства. В сельском хозяйстве одним из основных источников эмиссии загрязняющих веществ являются системы переработки по-

бочных продуктов животноводства (ППЖ) [1]. Эмиссии парниковых газов происходят также из помещений для содержания животных (выбросы метана при внутренней ферментации) и с земельных угодий после внесения на них переработанных ППЖ [2, 3, 4].

Для расчета эмиссии от систем переработки ППЖ или земельных угодий необходимо точное определение содержания общего азота в ППЖ и почве. Для этого в настоящее время широко применяется метод Кьельдаля [5, 6, 7]. Весь процесс анализа занимает до четырех дней, он достаточно трудоёмкий. При выполнении анализа этим методом существует опасность работы с концентрированной серной кислотой [8, 9]. Данный метод может быть использован как для твердых, так и для жидких проб.

Существует другой более экологичный и высокотехнологичный метод определения общего азота – метод Дюма¹, включающий в себя озоление образца при высокой температуре в присутствии кислорода [10, 11]. Данный метод позволяет определять общий азот в твердых пробах.

Существует также метод высокотемпературного окисления. Он подобен методу Дюма, применяется для анализа жидких проб, имеет преимущества по скорости и экологичности процесса и может быть реализован на приборах фирмы «SHIMADZU» (Япония), «Analytik Jena AG» (Германия), ELEMENTAR (Германия), «ТОПАЗ-НС» (Россия) [12, 13].

В научных исследованиях и на практике переработки необходимо анализировать пробы как жидких, так и твердых ППЖ.

На основании анализа литературных источников с ППЖ выводится 30-35 % непереваренного корма, представляющего собой сумму питательных веществ – белков, жиров, углеводов, органических кислот, витаминов, минералов, нуклеиновых кислот и продуктов распада белков [14, 15]. С учетом этого состава необходимо сначала измельчить и гомогенизировать твердую пробу, а затем экстрагировать общий азот, то есть перевести его из твердой фазы в жидкую для дальнейшего анализа жидкой пробы методом высокотемпературного окисления. Для экстрагирования следует подобрать растворитель и условия проведения процесса.

Цель исследования – разработка методики количественного определения общего азота в ППЖ методом высокотемпературного окисления в части подготовки твердой пробы для дальнейшего анализа.

Материалы и методы. В научно-исследовательской лаборатории аналитических методов инженерной экологии ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ для определения общего азота в пробах ППЖ был выбран анализатор «ТОПАЗ-НС» фирмы ООО «Информаналитика» (Россия). Прибор предназначен для работы с жидкими пробами². Диапазон измерений достаточно широк – от 0,2 мг/дм³ до 100 мг/дм³. Время одного измерения составляет 180 секунд. При работе не используются токсичные или опасные реагенты, что обеспечивает безопасность выполнения измерений и экологичность самого процесса.

В рамках исследования определялись оптимальные условия экстрагирования общего азота из твердого образца в жидкую фазу на этапе пробоподготовки для дальнейшей возможности использования полученного жидкого образца на приборе ТОПАЗ-НС (рисунок 1).

Исследования проводились на двух твердых образцах переработанного ППЖ на основе куриного помета. Исходная влажность первого образца ППЖ, который был переработан технологией биоферментации, составляла 46,33 %, второго образца, который был переработан технологией пассивного компостирования – 66,67 %.

Сам процесс экстрагирования в системе «твердое тело – жидкость» называется процессом избирательного извлечения растворителем общего азота из твердого тела в жидкую фазу [16]. Механизм экстрагирования зависит от состояния частиц твердой фазы, а также от температуры, концентрации, времени и от природы растворителя (экстрагента). Количество перешедшего в раствор общего азота и кинетика процесса экстрагирования зависят от размера частиц пористого сырья. Предварительное измельчение твердых частиц существенно повышает эффективность процесса экстрагирования. Поэтому первым этапом исследования стала стадия определения влажности сырья, его измельчения и выбора оптимальных размеров частиц для извлечения.

¹ Instructions for manure analysis [Электронный ресурс] <https://projects.luke.fi/manurestandards/wp-content/uploads/sites/25/2020/02/Instructions-for-manure-analysis-1.pdf> (дата обращения 13.01.2025).

² Анализатор элементного состава "Топаз". Модификации "ТОПАЗ N", "ТОПАЗ C", "ТОПАЗ NC". Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. https://granat-e.ru/topaz-c_topaz-n_topaz-nc.html (дата обращения 13.01.2025).



Рисунок 1 – Порядок определения общего азота в твердой пробе ППЖ
Figure 1 – Procedure for determination of total nitrogen in a solid sample of animal by products

Вторым этапом исследования являлся выбор растворителя и его оптимальной концентрации, соотношения растворителя и экстрагируемого вещества. Из литературных источников следует, что наиболее подходящими экстрагентами для извлечения общего азота из ППЖ является раствор соляной кислоты слабой концентрации и раствор кальция хлористого [17]. Наиболее часто используемые концентрации экстрагентов: 0,01, 0,05 и 0,1 моль/л. Но, согласно инструкции к прибору «Топаз-НС», катализатор изготовлен из оксида алюминия с платиновым покрытием. А хлорид кальция вступает в химическую реакцию с оксидом алюминия при повышенных температурах. Поэтому в качестве экстрагента его раствор не подходит. В связи с этим экстракции проводились с помощью растворов соляной кислоты разных концентраций.

Третьим этапом исследования было определение времени проведения экстракции и температуры процесса, а четвертым этапом – определение скорости вращения перемешивающего устройства, т.к. на механизм переноса вещества в порах влияет гидродинамический режим перемешивания жидкой фазы³.

При исследовании использовались следующие реактивы:

- кислота соляная х.ч. ГОСТ 3118-77;
- водный раствор азота общего ГСО 8А1 7193-95 с относительной погрешностью аттестованного значения $\pm 0,7\%$;
- вода дистиллированная ГОСТ 6709-72;
- вода деионизированная ГОСТ Р 52501-2005.

Исследования проводились с помощью следующих средств измерения и вспомогательного оборудования:

- анализатор общего азота и углерода элементный «Топаз-НС» (ООО «Информаналитика», Россия), относительная погрешность прибора $(20-0,15 \cdot C_{\text{ОА}})\%$;
- электрошкаф СНОЛ-3,55.3,5/3,5-И5;
- весы лабораторные ВЛ-64;
- магнитные мешалки Экрос-6100 со скоростью вращения 200-2000 об/мин.;
- микрошприц для газовой хроматографии 100 мкл относительная погрешность дозирования 1% ;
- мельница лабораторная ЭМ-3А УХЛ 4.2;
- сито с размером ячеек 1 мм и 2 мм.

³Романков П. Г., Курочкина М. И. Экстрагирование из твердых материалов. Л.: Химия. 1983. 256 с.

Статистический анализ выполняли с применением программы Microsoft EXCEL. Эксперимент проводился с трехкратной повторностью.

С целью проверки адекватности методики результаты, полученные на приборе «Топаз-НС», сравнили с результатами, полученными методом Кьельдаля (ГОСТ 26715-85 п 1) для тех же проб.

Результаты. На первом этапе исследования изучался оптимальный режим экстракции на двух образцах переработанного ППЖ на основе куриного помета. Выявляли влияние влажности переработанного ППЖ на процесс экстракции, подбирали оптимальные размеры частиц. Каждый образец делили на 2 пробы. Первую пробу высушивали полностью, вторую – до предварительно подсушенного состояния по отношению к исходной влажности: влажность первого образца – 35,88 %, влажность второго образца – 25,15 %.

Для получения предварительно подсушенного состояния образцы высушивали при температуре 50 °С в течение четырех часов, после чего измельчали на измельчителе и просеивали через сито. Исследования проводили с одним растворителем – соляной кислотой с концентрацией 0,05 моль/л, соотношением твердой фазы к жидкой 1:10 и экстрагировали 60 минут при температуре 20 °С. По окончании экстракции пробу фильтровали от осадка, проводили измерения массовой концентрации общего азота на приборе «Топаз-НС» (рисунок 2).



Рисунок 2 – Определение общего азота в ППЖ на приборе «Топаз-НС»

Figure 2 – Determination of total nitrogen in animal by-products with Topaz-NC analyzer

Результаты по общему азоту в ППЖ для двух образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Выход общего азота после экстракции продолжительностью 60 минут в сухом состоянии и предварительно подсушенном состоянии

Table 1 – Total nitrogen yield after 60 minutes extraction in dry and pre-dried condition

№	Вид пробы / Sample type	Влажность пробы / Sample moisture content, %	Выход общего азота / Total nitrogen yield*, %
1	ППЖ, образец 1, полностью сухой / Animal by-product, sample 1, thoroughly dry	0	43,23
2	ППЖ, образец 1, предварительно подсушенный / Animal by-product, sample 1, pre-dried	35,88	60,29
3	ППЖ, образец 2, полностью сухой / Animal by-product, sample 2, thoroughly dry	0	37,89
4	ППЖ, образец 2, предварительно подсушенный / Animal by-product, sample 2, pre-dried	25,15	86,31

*под выходом общего азота принимается отношение массовой концентрации азота, полученной разрабатываемым методом, к массовой концентрации общего азота, полученной методом Кьельдаля.

*total nitrogen yield is the ratio of the mass concentration of nitrogen obtained by the method under development to the mass concentration of total nitrogen obtained by the Kjeldahl method.

Базируясь на полученных результатах из таблицы 1, делаем вывод, что для данного процесса экстракции лучше использовать ППЖ в предварительно подсушенном состоянии, чем в сухом состоянии.

В исследовании проверяли влияние размера частиц измельченного ППЖ на результат экстракции общего азота на образце 2 (проба 4 в таблице 1). Использовали гидромодуль 1:10, экстрагировали 60 минут при температуре 75 °С соляной кислотой с концентрацией 0,05 моль/л. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость выхода общего азота от состояния частиц образца 2
Table 2 – Dependence of total nitrogen yield on the particle state of sample 2

№	Состояние частиц / Particle state	Выход общего азота / Total nitrogen yield, %
1	С измельчением, без ситования / With grinding, without sieving	63,1
2	С измельчением, сито 2 мм / With grinding, 2 mm sieve mesh	84,4
3	С измельчением, сито 1 мм / With grinding, 1 mm sieve mesh	86,31

Как видно из таблицы 2, лучше использовать ППЖ в предварительно подсушенном состоянии в измельченном виде с размером частиц 1 мм. Данные результаты оптимальны для процесса экстрагирования и дают наибольшую полноту извлечения: увеличивается площадь контакта фаз, соответственно интенсивность массопереноса; за счет открытия новых пор и капилляров улучшается процесс смачивания частиц и набухания – водорастворимые белки в таком состоянии легче извлекать [18, 19].

На втором этапе выбирали оптимальную концентрацию растворителя и его гидромодуль на примере образца 1 (проба 2 в таблице 1), который был измельчен и отситован через сито 1 мм. Использовали навеску при соотношении гидромодуля 1:10 и 1:5. Экстрагировали при комнатной температуре в течение 60 минут соляной кислотой с концентрацией 0,05 моль/л. При гидромодуле 1:5 происходило заиливание мешалки, образовывалась очень густая реакционная масса, не происходило нормального перемешивания и разделения фаз. Поэтому обоснован гидромодуль 1:10 как наиболее оптимальный.

Определившись с гидромодулем, на третьем этапе для данной пробы выбирали оптимальное время проведения процесса экстракции для соляной кислоты с концентрацией 0,05 моль/л. Экстрагировали при комнатной температуре 21 °С, варьируя время экстракции от 60 минут, 90 минут и до 120 минут (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние времени экстракции на выход общего азота при концентрации соляной кислоты 0,05 моль/л

Table 3 – Effect of extraction time on the yield of total nitrogen at hydrochloric acid concentration of 0.05 mol/L

Время экстракции / Extraction time	Выход общего азота / Total nitrogen yield, %
60 минут / 60 minutes	28,49
90 минут / 90 minutes	26,79
120 минут / 120 minutes	32,87

Из представленных в таблице 3 результатов можно сделать вывод, что время проведения экстракции влияет на конечный результат.

Дополнительно провели исследования при увеличении температуры проведения процесса на образце 2 (проба 4 в таблице 1). Навеску образца, предварительно высушивали в сушильном шкафу при температуре 50 °С в течение 4 часов, далее измельчали, ситовали через сито 1 мм и экстрагировали навеску в соотношении 1:10 к соляной кислоте с концентрацией 0,05 моль/л. Экстрагировали при температурах 20 °С и 30 °С в течение 60 минут. Далее экстрагировали аналогично описанной выше методике, но при температурах 20 °С, 30 °С и 50 °С в течение 90 минут (рисунок 3).

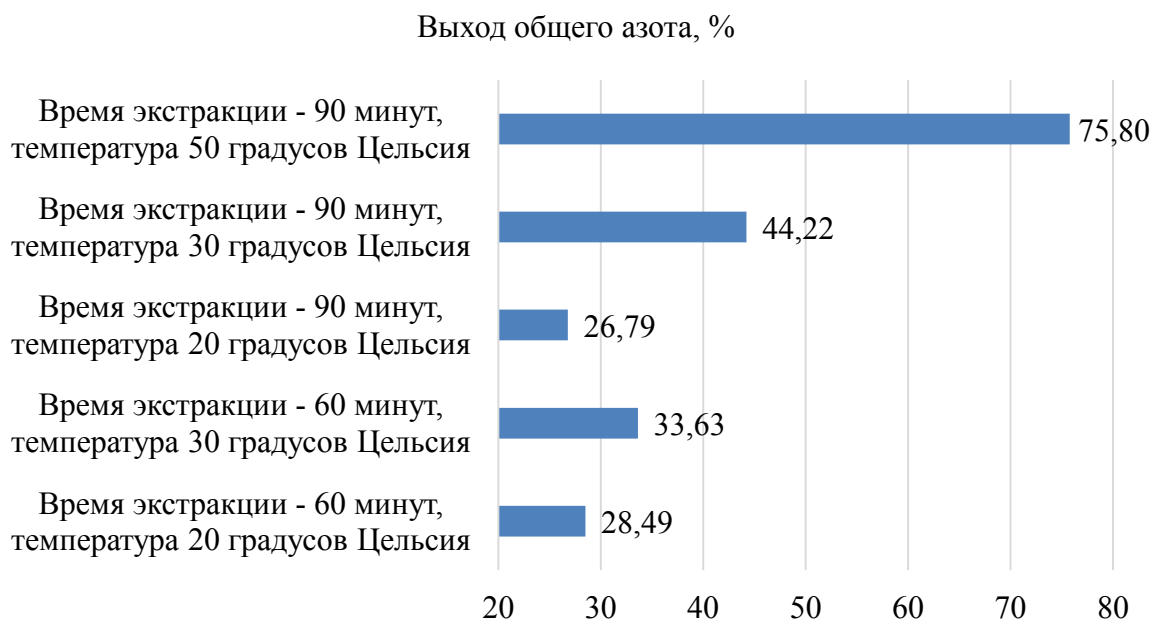


Рисунок 3 – Зависимость выхода общего азота от температуры и времени проведения экстракции соляной кислотой с концентрацией 0,05 моль/л

Figure 3 – Dependence of total nitrogen yield on temperature and time of extraction with 0.05 mol/L hydrochloric acid

Из рисунка 3 видно, что с увеличением температуры и времени экстракции, увеличивается выход общего азота. Но результаты не дали ожидаемый выход общего азота, поэтому решили увеличить концентрацию соляной кислоты до 0,1 моль/л и продолжить опыты.

Для образца 2 (проба 4 в таблице 1) провели экстракцию соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л при гидромодуле 1:10. Ввели процесс при более высокой температуре – добавляли экстрагент к навеске пробы и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 75 °С на 30 минут, далее варьировали время экстракции. Опыты вели в течение 60, 90 и 120 минут. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Экстракция соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л при температуре выдержки в сушильном шкафу 75 °С, время выдержки 30 минут

Table 4 – Extraction with 0.1 mol/L hydrochloric acid at a holding temperature in a desiccator of 75 °C, holding time 30 minutes

Время экстракции / Extraction time	Выход общего азота / Total nitrogen yield, %
60 минут / 60 minutes	86,31
90 минут / 90 minutes	74,2
120 минут / 120 minutes	84,71

Из таблицы 4 видно, что повышение концентрации экстрагента (соляной кислоты) и повышение температуры сказываются положительно. Равновесная концентрация достигается за 120 минут. За первый час экстрагирования наблюдается повышение концентрации общего азота в массе, так как идет интенсивный массообмен. За 90 минут идет спад, так как происходит процесс накопления, набухания вещества.

Провели два эксперимента по определению влияния времени нахождения пробы при нагревании в сушильном шкафу на выход общего азота.

Эксперимент 1: к навеске образца 1, высушенной при температуре 50 °С в течение 4 часов, измельченной и отситованной через сито 1 мм, добавили соляную кислоту с концентрацией 0,1 моль/л, использовали гидромодуль 1:5. Далее ставили в сушильный шкаф на 30 минут при температуре 75 °С. После окончания выдержки в шкафу экстрагировали в течение 30 минут. Потом отфильтровывали пробу. После фильтрации высохший осадок с фильтра снова переносили в колбу и туда приливали теплую деионизованную воду, тем-

пература которой была 50 °С (гидро модуль 1:5). И снова уже экстрагировали пробу с водой в течение 30 минут. После процесса фильтровали окончательно экстракт. Получили выход общего азота 96,24 %.

Эксперимент 2: время выдержки образца в сушильном шкафу увеличили до 40 минут, при остальных тех же условиях, что в эксперименте 1. Выход общего азота составил 91,96 %. Соответственно, можем сделать выводы, что увеличение времени пребывания пробы при 75 °С не влияет на скорость экстрагирования общего азота.

На основании полученных результатов, провели эксперимент 3 – увеличили время экстракции до 120 минут и уменьшили время нахождения образца в сушильном шкафу при 75 °С до 20 минут. В остальных условиях были те же, за исключением времени экстрагирования, в течение 60 минут соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л, а затем деионизованной водой 60 минут.

Провели четвертый эксперимент, чтобы понять влияние времени экстракции водой на результат. Сначала экстрагировали соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л в течение 90 минут, далее 30 минут водой деионизованной. Выход общего азота составил 96,51 %.

В результате исследований установлено, что лучше экстрагировать 120 минут: 60 минут соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л, а затем 60 минут водой деионизованной.

Четвертым этапом исследования был подбор оптимальной скорости вращения мешалки. Для этого проведены эксперименты на образце 2 (проба 4 в таблице 1). Процесс проводили аналогично описанной ранее методике, только изменяли скорость перемешивания. При скорости перемешивания в 600 об/мин. выход общего азота составил 93,45 %, при 800 об/мин. – 98,12 %. Следовательно, оптимальная скорость составляет 800 об/мин. При такой скорости увеличивается поверхность контакта твердой и жидкой фаз, ускоряется процесс массообмена, достигается межфазное равновесие. При большей скорости перемешивания увеличивается визуально гидродинамика перемешивания, идет выплескивание растворителя наружу. Перемешивание должно быть равномерным, без выплескивания, и плавным – захватывать весь объем суспензии.

В результате проведенных исследований обоснованы следующие особенности пробоподготовки:

1. использование пробы ППЖ в предварительно подсушенном состоянии, с измельчением частиц пробы до 1 мм;
2. применение гидро модуля 1:10 и концентрации соляной кислоты 0,1 моль/л; пробоподготовка проводится при оптимальной температуре 75 °С в течение 20 минут;
3. время экстрагирования: 60 минут соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л, затем 60 минут водой деионизованной;
4. скорость перемешивания – 800 об/мин.

Обсуждение. В соответствии с ГОСТ Р 5725-1-2002, ГОСТ Р ИСО 5725-5-2002, РМГ 61-2010 и ПНД Ф 16.1:2.3.82-2013, требуемое количество проведенных экспериментов составляет 18 штук. Данные исследования проводили на образце 2 (номер 4 в таблице 1). Внутрिलाбораторная прецизионность проводилась с одним фактором – временем проведения опыта.

Параллельно в этих же пробах определяли общий азот методом Кьельдаля. Далее оценивали правильность результатов анализа одной и той же пробы по исследуемой методике (на анализаторе Топаз-НС) и методике контрольной (по Кьельдалю) по критерию Стьюдента^{4,5}. Результаты представлены в таблицах 5 и 6.

Из приведённых в таблице 6 данных видно, что значение коэффициента Стьюдента, рассчитанное по результатам анализа двух методов, составило 0,2. Табличное значение коэффициента Стьюдента при том же уровне вероятности (95 %) равно 2,03. Рассчитанное значение (0,2) меньше табличного (2,03), следовательно, результаты, полученные новым разработанным методом, являются правильными и не отягощены систематической ошибкой.

⁴ Отто М. Современные методы аналитической химии. М: Техносфера. 2006. 416 с.

⁵ Дворкин В. И. Метрология и обеспечение качества химического анализа. М.: Техносфера. 2019. 318 с.

Таблица 5 – Результаты оценки двух методов
Table 5 – Evaluation results of the two methods

№ эксперимента / Experiment number	Массовая концентрация общего азота (мг/кг), полученная на анализаторе Топаз-NC / Mass concentration of total nitrogen (mg/kg) obtained on Topaz-NC analyzer	Массовая концентрация общего азота (мг/кг), полученная по методу Кьельдаля / Mass concentration of total nitrogen (mg/kg) obtained by the Kjeldahl method
1.	28270,4	25564
2.	27261,5	25718
3.	28493	26491,4
4.	24324,8	27128,4
5.	26494,8	25432,5
6.	25201,6	23365,4
7.	25185,1	24076,2
8.	26159,8	23626,38
9.	27747,5	26621,6
10.	27739,8	27573,2
11.	22269,2	23559
12.	22420,4	26965,1
13.	24133,5	27674,7
14.	22934,1	27406,6
15.	24936,6	25641
16.	26274,4	26686,9
17.	24517,2	26572,5
18.	23094,6	27176,5

Таблица 6 – Статистическая обработка полученных результатов по критерию Стьюдента
Table 6 – Statistical analysis of obtained results by Student's criterion

Метод / Method	n – количество экспериментов / number of experi-ments	X _{ср} Средняя массовая концентрация общего азота, мг/кг / Average mass concentration of total nitrogen, mg/kg	S – среднее квадратическое отклонение СКО / S – standard deviation (SD)	P – принятый в расчетах уровень вероятности / P – probability level assumed in calculations, %	Расчитан-ное значение критерия Стьюдента для уровня вероятности 95% / Calculated Student's criterion for probability level of 95%	Табличное значение критерия Стьюдента для уровня вероятности 95% / Reference Student's criterion for probability level of 95%
На анализа- торе Топаз-NC / On Topaz- NC analyzer	18	25414,4	2010,39	95	0,2	2,03
Метод Кьельдаля / By Kjeldahl method		25960	1438,97			

Проведена оценка повторяемости разрабатываемой методики анализа⁶. Анализ восьми параллельных проб на образце 2 проведен в одинаковых условиях: один и тот же исследователь в один день в короткие промежутки времени. Статистические результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты и метрологические характеристики при определении повторяемости массовой концентрации азота общего на анализаторе Топаз-НС в образце 2

Table 7 – Results and metrological characteristics in determining the repeatability of the mass concentration of total nitrogen on Topaz-NC analyzer in sample 2

	Массовая концентрация общего азота, мг/кг / Mass concentration of total nitrogen, mg/kg	n – кол-во экспериментов / n – number of experiments	Х ср (Средняя массовая концентрация общего азота), мг/кг / Average mass concentration of total nitrogen, mg/kg	S – СКО серии / SD of the series	P – принятый в расчетах уровень вероятности / P – probability level assumed in calculations, %	Рассчитанное значение критерия Стьюдента для уровня вероятности 95% / Calculated Student's criterion for probability level of 95%	Табличное значение критерия Стьюдента для уровня вероятности 95 % / Reference Student's criterion for probability level of 95 %
1	26275	8	26707,8	2191,8	95	0,97	2,36
2	24093,3						
3	24870,4						
4	27449,3						
5	25003,3						
6	30491,7						
7	29029,6						
8	26450						

Из таблицы 7 видно, что численное значение коэффициента Стьюдента, рассчитанное по результатам выборки, составило 0,97. Табличное значение коэффициента Стьюдента при вероятности 95 % и степени свободы 7 составило 2,36^{6,7}. Рассчитанное значение (0,97) меньше табличного (2,36), следовательно, результаты, полученные новым разработанным методом, являются сходимыми и не отягощены систематической ошибкой.

Оценена внутрилабораторная прецизионность: анализы проводились в одинаковых условиях, на том же образце 2, один и тот же исследователь, но в разные дни. Результаты представлены в таблице 8. Среднее значение 12.04.2024 составило 25198 мг/кг; 15.04.2024 – 24001,4 мг/кг

По результатам, представленным в таблице 8, можно увидеть, что численное значение коэффициента Стьюдента, рассчитанное по результатам выборки, составило 1,38. Табличное значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности 95 % и степени свободы $f=10$, составило 2,23. Рассчитанное значение (1,38) меньше табличного (2,23), следовательно, результаты, полученные новым разработанным методом, являются воспроизводимыми и не отягощены систематической ошибкой. Следовательно, данные, полученные на анализаторе Топаз-НС, являются достоверными и могут использоваться в дальнейшей работе.

⁶РМГ 61-2010 Показатель точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. М.: Стандартинформ, 2013. 62 с.

⁷Руководство Eurachem «Пригодность аналитических методов для конкретного применения. Руководство для лабораторий по валидации методов и смежным вопросам». <https://bsca.by/upload/images/5ebbe78b99cd1.pdf?ysclid=m230yvek4u80011854>

Таблица 8 – Результаты и метрологические характеристики при определении внутрилабораторной прецизионности массовой концентрации общего азота на анализаторе Топаз-NC в образце 2

Table 8 – Results and metrological characteristics in determining the within-laboratory precision of mass concentration of total nitrogen on Topaz-NC analyzer in sample 2

	12.04.2024	15.04.2024	S1 (СКО 12.04.2024) / S – standard deviation (SD) 12.04.2024	S2 (СКО 15.04.2024) / S – standard deviation (SD) 15.04.2024	S общ. (СКО обеих серий) / S – standard deviation (SD) of two series	Р (принятый в расчетах уровень вероятности), Р – probability level assumed in calculations %	Расчитанное значение критерия Стьюдента для уровня вероятности 95 % / Calculated Student's criterion for probability level of 95 %	Табличное значение критерия Стьюдента для уровня вероятности 95 % / Reference Student's criterion for probability level of 95 %
	Массовая концентрация общего азота, мг/кг / Mass concentration of total nitrogen, mg/kg	Массовая концентрация общего азота, мг/кг / Mass concentration of total nitrogen, mg/kg						
1.	26275	22644,1	1448,3	1549,7	1499,9	95	1,38	2,23
2.	24093,3	25622,9						
3.	24870,4	21949,9						
4.	27449,3	23918,4						
5.	25003,3	25823						
6.	23496,8	24050,1						

Заключение. В ходе исследований разработана методика анализа общего азота методом высокотемпературного окисления в части подготовки проб посредством экстракции общего азота из твердого побочного продукта животноводства. Данная методика позволяет анализировать твердые пробы на анализаторе «Топаз-NC».

Обоснованы рациональные параметры проведения процесса экстракции общего азота:

1 использование пробы ППЖ в предварительно подсушенном состоянии, с измельчением частиц пробы до 1 мм;

2 применение гидромодуля 1:10 и концентрации соляной кислоты 0,1 моль/л; пробоподготовка проводится при оптимальной температуре 75 °С в течение 20 минут;

3 время экстрагирования: 60 минут соляной кислотой с концентрацией 0,1 моль/л, затем 60 минут водой деионизованной;

4 скорость перемешивания – 800 об/мин.

Значения сравнивали по выходу общего азота в массовых долях. Это отношение массовой концентрации общего азота, полученной по разрабатываемой методике, к результатам, полученным методом Кельдаля.

При оценке результатов, полученных при анализе общего азота методом Кельдаля и с применением разработанной методики, по критерию Стьюдента установлено, что систематическая составляющая погрешности отсутствует, следовательно, результаты являются репрезентативными. Следовательно, данные, полученные на анализаторе Топаз-NC, является достоверными и могут использоваться в дальнейшей работе.

Исследования были проведены для ППЖ на основе куриного помета. Для иных видов ППЖ необходимы дополнительные исследования и при необходимости внесение корректировок параметров экстракции азота для каждого вида ППЖ.

Conclusions. The study resulted in a technique for analysis of total nitrogen by high-temperature oxidation method in terms of sample preparation by extraction of total nitrogen from solid animal by-products. This method allows working with solid samples on Topaz-NC analyzer.

The study substantiated rational parameters of total nitrogen extraction process:

– the use of the animal by-product sample in a pre-dried state with grinding of sample particles to 1 mm;

– application of hydromodule 1:10 and hydrochloric acid concentration 0.1 mol/l; sample was prepared at an optimum temperature of 75 °C for 20 minutes;

– extraction time: 60 minutes with 0.1 mol/L hydrochloric acid followed by 60 minutes with deionized water (water-soluble proteins were extracted with water);

– mixing speed – 800 rpm.

The values were compared by the yield of total nitrogen in mass fractions. This was the ratio of the mass concentration of total nitrogen obtained by the developed method to the results obtained by the Kjeldahl method.

When evaluating the results obtained from the analysis of total nitrogen by the Kjeldahl method and using the developed technique, by Student's criterion it was found that the systematic component of error was absent, therefore, the results were representative. Consequently, the data obtained on the analyzer Topaz-NC is reliable and can be used in further work.

The studies were performed for chicken manure-based animal by-product. Other types of animal by-products require additional studies and, if necessary, adjustments to the nitrogen extraction parameters for each type.

Библиографический список

1. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В. Методический подход к выбору и проектированию отстойников жидкой фракции свиного навоза. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2013. № 2 (4). С. 17-21. <https://elibrary.ru/item.asp?id=19414326>
2. Вторый В. Ф., Вторый С. В. Влияние системы удаления навоза на концентрацию аммиака в коровниках с беспривязным содержанием. *АгроЭкоИнженерия*. 2024. № 2 (119). С. 104-117. <https://elibrary.ru/item.asp?id=67973357>
3. Панов А. И., Алдошин Н. В., Манохина А. А., Семин В. В. Экспериментальные исследования комбинированного агрегата для внутрипочвенного внесения органических удобрений. *АгроЭкоИнженерия*. 2023. № 2 (115). С. 97-108. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54147612>
4. Джаббаров Н. И., Мишанов А. П., Добринов А. В. Прогнозирование выбросов парниковых газов в растениеводстве от уровня применяемых технологий. *АгроЭкоИнженерия*. 2024. № 1 (118). С. 70-82. <https://elibrary.ru/item.asp?id=66234408>
5. Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Изменение содержания азота и фосфора в жидкой фракции свиного навоза при биологической очистке. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2014. № 85. С. 146-150. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22489617>
6. Simonne A. H., Simonne E. H., Eitenmiller R. R., Mills H. A., Cresman C. P. Could the Dumas method replace the Kjeldahl digestion for nitrogen and crude protein determinations in foods? *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997. V. 73 (1). Pp. 39-45.
7. Moore J. C., DeVries J. W., Lipp M., Griffiths J. C., Abernethy D. R. Total protein methods and their potential utility to reduce the risk of food protein adulteration. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2010. V. 9 (4). Pp. 330-357.
8. Watson M. E., Galliher T. L. Comparison of Dumas and Kjeldahl methods with automatic analyzers on agricultural samples under routine rapid analysis conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2001. V. 32. Pp. 2007-2019.
9. Ягов Г. В. Определение общего азота в пробах воды. *Вода. Химия и экология*. 2014. № 5. С. 82-86. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21623715>
10. Hoskins B. Sample handling. Recommended methods of manure analysis. USA: University of Wisconsin-Extension, 2003. Pp. 12-13.
11. Larney F. J., Ellert B. H., Olson A. F. Carbon, ash and organic matter relationships for feedlot manures and composts. *Canadian Journal of Soil Science*. 2005. V. 85. Pp. 261-264.
12. Маркова Т. И., Ягов Г. В. Приборное обеспечение анализа органического углерода в воде. *Вода и экология. Проблемы и решения*. 2013. № 4. С. 23-35. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20860772>
13. Ягов Г. В. Современные методы определения содержания общего азота и углерода в пробах природных вод. *Вода: Химия и экология*. 2009. № 10. С. 28-33. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13787537>
14. Степанова А. М., Тарабукина Н. П., Скрябина М. П., Неустроев М. П., Парникова С. И. Кормовая добавка из помета – источник аминокислот и полезных бактерий. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2019. Т. 14. № 4. С. 466-480. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41669233>
15. Корочанская С. П., Сторожук П. Г., Быков И. М. Учебно-методическое пособие по биологической химии. Краснодар: КубГМУ. 2022. 82 с. *Metodicheskoe-posobie-BH-chast-1.pdf*
16. Промтов М. А., Рудобашта С. П. Экстрагирование гуминовых и фульвокислот из гуматосодержащего сырья в роторном импульсном аппарате: монография. Тамбов: ФГБОУВО «ТГТУ». 2022. 124 с. <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2022/promtov.pdf>
17. Kmecl V., Sušin J. Development of a method used for the determination of soluble organic nitrogen in soil. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2003. V. 81 (2). Pp. 313-324.
18. Промтов М. А., Степанов А. Ю. Кинетика совмещенных процессов диспергирования и экстракции гуминовых и фульвовых кислот из торфа и биогумуса в роторном импульсном аппарате. *Химия растительного сырья*. 2019. № 2. С. 261-269. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38500056>
19. Суворов В. И. Пористая структура торфа. *Труды Инстрора*. 2011. № 3 (56). С. 12-26. https://www.instorf.ru/files/instorf_journal_3_56.pdf

References

1. Briukhanov A. Yu., Shalavina E. V. Methodical approach to the selection and design of settling tanks of liquid fraction of pig manure. *Innovations in Agriculture*. 2013. No. 2 (4). Pp. 17-21. <https://elibrary.ru/item.asp?id=19414326>
2. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V. Effect of manure removal system on ammonia concentration in loose housing barns. *AgroEcoEngineering*. 2024. No. 2 (119). Pp. 104-117. <https://elibrary.ru/item.asp?id=67973357>
3. Panov A. I., Aldoshin N. V., Manokhina A. A., Semin V. V. Experimental study of a combined unit for intrasoil injection of organic fertilizers. *AgroEcoEngineering*. 2023. No. 2 (115). Pp. 97-108. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54147612>

4. Dzhaborov N. I., Mishanov A. P., Dobrinov A. V. Forecasting of greenhouse gas emissions in crop production depending on applied technology level. *AgroEcoEngineering*. 2024. No. 1 (118). Pp. 70-82. <https://elibrary.ru/item.asp?id=66234408>
5. Vasilev E. V., Shalavina E. V. Change in nitrogen and phosphorus content during biological treatment of liquid fraction of pig manure. *Technologies, Machines and Equipment for Mechanised Crop and Livestock Production*. 2014. No. 85. Pp. 146-150. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22489617>
6. Simonne A. H., Simonne E. H., Eitenmiller R. R., Mills H. A., Cresman C. P. Could the Dumas method replace the Kjeldahl digestion for nitrogen and crude protein determinations in foods? *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997. V. 73 (1). Pp. 39-45.
7. Moore J. C., DeVries J. W., Lipp M., Griffiths J. C., Abernethy D. R. Total protein methods and their potential utility to reduce the risk of food protein adulteration. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2010. V. 9 (4). Pp. 330-357.
8. Watson M. E., Galliher T. L. Comparison of Dumas and Kjeldahl methods with automatic analyzers on agricultural samples under routine rapid analysis conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2001. V. 32. Pp. 2007-2019.
9. Yagov G. V. Determination of total nitrogen in water samples. *Water: Chemistry and Ecology*. 2014. № 5. C. 82-86. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21623715>
10. Hoskins B. Sample handling. In: Peters J. (ed.) *Recommended methods of manure analysis*. USA: University of Wisconsin-Extension. 2003. Pp. 12-13.
11. Larney F. J., Ellert B. H., Olson A.F. Carbon, ash and organic matter relationships for feedlot manures and composts. *Canadian Journal of Soil Science*. 2005. Vol. 85. Pp. 261-264.
12. Markova T. I., Yagov G. V. Instrumentation for analysis of organic carbon in water. *Water and Ecology*. 2013. No. 4. Pp. 23-35. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20860772>
13. Jagov G. V. Modern methods of total nitrogen control and carbon control in natural water samples. *Water: Chemistry and Ecology*. 2009. No. 10. Pp. 28-33. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13787537>
14. Stepanova A. M., Tarabukina N. P., Scryabina M. P., Neustroev M. P., Parnikova S. I. Litter feed additive as source of amino acids and beneficial bacteria. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019. V. 14 (4). Pp. 466-480. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41669233>
15. Korochanskaya S. P., Storozhuk P. G., Bykov I. M. Textbook on biological chemistry. Krasnodar: KubGMU. 2022. 82 p. *Metodicheskoe-posobie-BH-chast-1.pdf*
16. Promtov M. A., Rudobashta S. P. Extraction of humic and fulvic acids from humate-containing raw materials in a rotary pulse apparatus: monograph. Tambov, 2022. 124 p. <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2022/promtov.pdf>
17. Kmecl V., Sušin J. Development of a method used for the determination of soluble organic nitrogen in soil. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2003. V. 81 (2). Pp. 313-324.
18. Promtov M. A., Stepanov A. Yu. The kinetics of the combined processes of dispersion and extraction of humic and fulvic acids from peat and vermicompost in the rotor-stator device. *Chemistry of plant raw materials*. 2019. V. 2. Pp. 261-269. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38500056>
19. Suvorov V. I. Porous structure of peat. *Proc. East European Institute of Peat Science*. Tver State Technical University. 2011. V. 3 (56). Pp. 12-26. https://www.instorf.ru/files/instorf_journal_3_56.pdf

Информация об авторах

Васильев Эдуард Вадимович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское шоссе, 3), e-mail: sznii6@ya.ru

Черникова Марина Владимировна, заведующий сектором, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское шоссе, 3), e-mail: laboratorychm@yandex.ru

Шалавина Екатерина Викторовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское шоссе, 3), e-mail: shalavinaev@mail.ru

Васильева Наталия Сергеевна, младший научный сотрудник, Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское шоссе, 3), e-mail: vasileva0203@yandex.ru

Authors' Information

Vasilev Eduard Vadimovich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – the branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, Tyarlevo settlement, Filtrovskoye shosse, 3), e-mail: sznii6@ya.ru

Chernikova Marina Vladimirovna, Head of the Sector, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – the branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, Tyarlevo settlement, Filtrovskoye shosse, 3), e-mail: laboratorychm@yandex.ru

Shalavina Ekaterina Viktorovna, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – the branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, Tyarlevo settlement, Filtrovskoye shosse, 3), e-mail: shalavinaev@mail.ru

Vasileva Natalia Sergeevna, junior researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – the branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, Tyarlevo settlement, Filtrovskoye shosse, 3), e-mail: vasileva0203@yandex.ru

HAYFIELDS PRODUCTIVITY ASSESSMENT IN THE AREAS CONFINED TO FLOODPLAIN AND GULLY ALLUVIAL-MEADOW SANDY AND SANDY LOAM DEPOSITS OF THE DON BASIN**Vlasenko M. V., Kulik A. K.***Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kulikak79@yandex.ru

Received 22.04.2025

Submitted 21.05.2025

Abstract

The aim of the research. The purpose of the research is to assess the yield and species diversity of hayfields in the sandy massifs of the Don basin (Volgograd region, Ilovlin'sky district), and to develop scientific and practical foundations for extending their productive longevity. The objects of research are natural meadow cenoses, as well as meadow cenoses phytomeliorated by sowing perennial grasses that are capable to densify the aerotope. **Materials and methods.** The scientific novelty of the work consists in deepening knowledge about the productivity and peculiarities of the modes of the Don River basin forage lands use. The research was carried out using the classical method and a set of standard tools (tape measure, pegs, pruning shears, rope, electronic scales). The biomass was determined by cutting off trial mowing during the period of meadow hay maturity on 1 m² sites in 10-fold repetition on each. The work program provided for the identification of species diversity and yields of natural and phytomeliorated meadow phytocenoses under different modes of use (haymaking or haymaking together with pasture), methods and timing of harvesting grasses for hay. **Results and conclusions.** Studies have revealed that the average yield of natural meadow grasses at late spring and early summer mowing in 2024 was 246-357 g/m², and at late summer mowing – 178-245 g/m². The average yield of phytomeliorated hayfields when harvesting grasses for hay in late spring reached 201-324 g/m². In both natural and phytomeliorated hayfields, under all modes of use, cereal species dominated the total phytomass (40.9-66.7 % – under the haymaking regime on natural lands; 47.7-52.3 % – under the haymaking and pasture regime on natural lands; 50.7 % – under the haymaking regime on phytomeliorated lands). The exception is the hay and pasture regime on phytomeliorated lands, when the share of cereal species in the phytomass was 43.0 %, the share of mixed grasses reached 51.0 %, and legume species – 6 %. The unregulated haymaking and pasture regime in areas confined to the floodplain and gully alluvial meadow sandy and sandy loam deposits of the Don basin reduced the productivity of hayfields by 1.5-1.6 times and their forage value due to a decrease in the proportion of legume species and wormwood, as well as an increase in weeds.

Keywords: fodder lands, yield of fodder grasses, productivity of hayfields, fodder grasses.**Citation.** Vlasenko M. V., Kulik A. K. Hayfields productivity assessment in the areas confined to floodplain and gully alluvial-meadow sandy and sandy loam deposits of the Don basin. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 87-97 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-09.**Author's contribution.** All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

The work was carried out within the framework of the State assignment FNFE-2025-0004 "Theoretical justification and concept of adaptive solutions for the management of phytoecological resources of the Russian Federation arid zone agricultural landscapes at the river's basin level, using system-dynamic modeling of soil-hydrological processes, climate change effects and anthropogenic loads multifactorial analysis".

УДК 633.2.03

**ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ СЕНОКОСОВ НА УЧАСТКАХ, ПРИУРОЧЕННЫХ
К ПРИПОЙМЕННЫМ И БАЛОЧНЫМ АЛЛЮВИАЛЬНО-ЛУГОВЫМ ПЕСЧАНЫМ
И СУПЕСЧАНЫМ ОТЛОЖЕНИЯМ ДОНСКОГО БАСЕЙНА****Власенко М. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Кулик А. К., кандидат сельскохозяйственных наук***ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Цель исследований – оценка урожайности и видового разнообразия сенокосных угодий на песчаных массивах Донского бассейна (Волгоградская область, Иловлинский район), разработка научно-практических основ продления их продуктивного долголетия. Объекты исследований – естественные луговые ценозы, а также луговые ценозы, фитомелиорированные подсевом многолетних

кормовых трав, способных уплотнять аэротоп. **Материалы и методы.** Научная новизна работы состоит в углублении знаний о продуктивности и особенностях режимов использования кормовых угодий бассейна р. Дон. Исследования проводились классическим методом с помощью набора стандартных инструментов (рулетка, колышки, секатор, верёвка, электронные весы). Биомасса определялась методом среза пробных укосов в период сенокосной спелости луга на площадках размером по 1 м² в 10-кратной повторности на каждой. Программой работ предусматривалось выявление видового разнообразия и урожайности естественных и фитомелиорированных луговых фитоценозов при разных режимах использования (сенокосный, сенокосно-пастбищный) и сроках уборки трав на сено. **Результаты и выводы.** Средняя урожайность естественных луговых трав при поздневесенне-раннелетних укосах в 2024 году составила 246-357 г/м², а при позднелетних укосах – 178-245 г/м². Средняя урожайность фитомелиорированных сенокосов при уборке трав на сено в конце весны достигла 201-324 г/м². Как на естественных, так и на фитомелиорированных сенокосах при всех режимах использования в общей фитомассе в основном доминировали злаковые виды (40,9-66,7 % – при сенокосном режиме на естественных угодьях; 47,7-52,3 % – при сенокосно-пастбищном режиме на естественных угодьях; 50,7 % – при сенокосном режиме на фитомелиорированных угодьях). Исключение: сенокосно-пастбищного режима на фитомелиорированных угодьях, когда доля злаковых видов в фитомассе составила 43,0 %, доля разнотравья при этом достигла 51,0 %, а бобовых видов – 6 %. Нерегламентируемый сенокосно-пастбищный режим на участках, приуроченных к припойменным и балочным аллювиально-луговым песчаным и супесчаным отложениям Донского бассейна, снизил продуктивность сенокосов в 1,5-1,6 раза и их кормовую ценность за счёт уменьшения доли бобовых видов, полыни, а также увеличения сорного разнотравья.

Ключевые слова: кормовые угодья, урожайность кормовых трав, продуктивность сенокосов, кормовые травы.

Цитирование. Власенко М. В., Кулик А. К. Оценка продуктивности сенокосов на участках, приуроченных к припойменным и балочным аллювиально-луговым песчаным и супесчаным отложениям Донского бассейна. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 87-97. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-09.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа проводилась в рамках Государственного задания FNFE-2025-0004 «Теоретическое обоснование и концепция адаптивных решений по управлению фитоэкологическими ресурсами агроландшафтов засушливой зоны РФ на бассейновом уровне, с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, многофакторного анализа влияния изменения климата и антропогенных нагрузок».

Введение. Природные кормовые угодья могут успешно выполнять свои биологические функции постоянного воспроизводства кормовых ресурсов, формирования среды обитания человека, флоры и фауны, сохранения биологического разнообразия только при условии их эксплуатации в экологически допустимых режимах [1-4]. Сохранение и повышение продуктивности кормовых угодий в регионах засушливого климата – проблема сложная в силу жёсткости природных условий, роста давления антропогенных и техногенных факторов на почвенно-растительный покров, что нередко вызывает нарушение структуры и нормального функционирования пастбищных экосистем, их деградации. Характерной особенностью кормовых экосистем являются также сезонные колебания кормозапаса с амплитудой до 6 кратных значений. В соответствии с колебаниями продуктивности меняется и их ёмкость, что порождает проблему регулирования нагрузок на природные кормовые угодья, игнорирование которой неизбежно порождает развитие и усиление негативных процессов [5-10].

Кормовые травостои одной и той же местности ежегодно и посезонно изменяются под влиянием природных и антропогенных факторов. Меняется количественный и видовой состав фитомассы, одни фитоценозы переходят в другие [11]. Сезонная изменчивость имеет большое значение в производственном отношении, особенно в степной и полупустынной зонах, когда животные хорошо поедают весной эфемеры, злаки и другие сочные растения, а осенью – солянки и полыни. Под влиянием метеорологических условий прошлых лет также происходят значительные изменения видового состава, урожайности и кормовой ценности травостоев [12].

Антропогенное воздействие на кормовые угодья путём выпаса сельскохозяйственных животных, применения агротехники, сенокосения и т.д. влияет на мощность развития фитоценозов и отдельных видов, сосуществующих в нем. Сенокосение угнетает некоторые низкорослые злаки и бобовые виды (мятлик луговой, клевер белый), которые занимают в сообществе подчинённое положение. Однако при этом быстро развивающиеся верховые злаки и бобовые виды (овсяница луговая, пырей ползучий, костёр безостый, люцерна

посевная, эспарцет и др.) сохраняются и доминируют. При сенокосении выпадают однолетние и двулетние поздно обсеменяющиеся виды. Утаптывание почвы при выпасе сельскохозяйственных животных усиливает процесс дернообразования, что создаёт условия для мощного развития плотнокустовых злаков. Дальнейшая пастьба усиливает их кушение и ускоряет образование плотнокустовой дернины, но также активизируется разложение её мёртвого органического вещества, что делает дернину более проницаемой для воды и воздуха. При выпасе угнетается развитие высокорослых трав, преобладают низовые злаковые и бобовые виды, а также низкорослое разнотравье [13, 14].

В связи с тем, что для предотвращения деградиационных процессов требуется меньше материально-технических и финансовых затрат, чем для их восстановления, главным направлением изучения природных кормовых угодий является решение следующих проблем: инвентаризация и оценка состояния, разработка мероприятий по рациональному использованию, улучшению и охране [15-19]. Для разработки новых и совершенствования существующих технологий создания и рационального использования кормовых угодий большое значение имеют опытные и мониторинговые исследования, которые позволяют получить научные данные, являющиеся основой для разработки практических рекомендаций [20-22].

Актуальность исследований заключается в сборе сведений о текущем состоянии пастбищных экосистем и оценке стабильности растительного разнообразия с целью поддержания экологического равновесия определённой территории. Научная новизна работы состоит в углублении знаний о продуктивности и особенностях режимов использования кормовых угодий бассейна р. Дон.

Материалы, условия и методы исследований.

Цель исследований – оценка продуктивности и видового разнообразия сенокосных угодий на песчаных массивах Донского бассейна (Волгоградская область, Иловлинский район) и разработка научно-практических основ продления их продуктивного долголетия.

Объекты исследований – естественные луговые ценозы, а также луговые ценозы фитомелиорированные подсевом многолетних кормовых трав, способных уплотнять аэротоп. Оценка продуктивности естественных сенокосов проводилась на участках, приуроченных к припойменным и балочным аллювиально-луговым песчаным и супесчаным отложениям Донского бассейна, предназначенным для сенокосно-пастбищного использования, в сравнении с фитомелиорированными высевом *Agropyron cristatum*, *Agropyron elongatum* и *Bromus inermis* сенокосами Иловлинского района п. Качалино.

Программой работ было предусмотрено выявление видового разнообразия и урожайности луговых фитоценозов при разных режимах использования (сенокосный, сенокосно-пастбищный) и сроках уборки трав на сено. Сенокосно-пастбищный режим использования угодий на территории предполагает, что выпас осуществляется вольно, скот пасётся по всей территории враспыльную, стравливание идёт неравномерно. Было подобрано 3 участка с сенокосно-пастбищным режимом пользования (полигоны 1б, 2б и 3б). Сенокосный режим пользования имитировался путём выдела и огораживания полигонов на этих участках размером 10х10 м² (полигоны 1а, 2а и 3а). Укосы на полигонах проводились в период: 1а/б – III декады мая – I декада июня; 2а/б – III декады августа; 3а/б – III декады мая.

Биомасса определялась методом среза пробных укосов в период сенокосной спелости луга на площадках размером по 1 м² в 10-кратной повторности на каждой. Срезанные секатором образцы трав разбирались по видам, взвешивались на электронных весах. Высота среза при пробном укосе 5-7 см. Определялась весовая доля видов, а также общая масса укоса как естественных, так и фитомелиорированных сенокосов (г/м² и %).

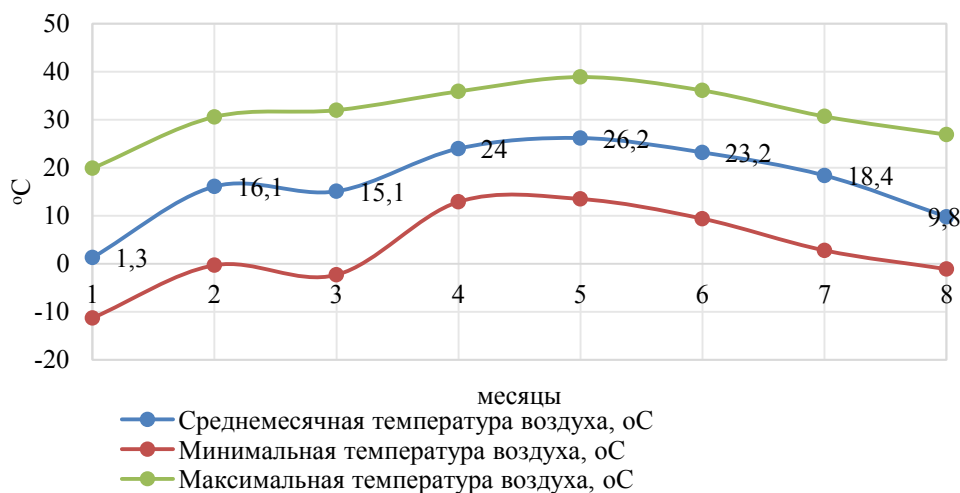
Погодные условия региона исследований анализировались по архивным данным метеостанции Иловля (№ 3446).

Результаты исследования и их обсуждение.

Согласно агроландшафтному районированию Волгоградской области территория, где осуществлялись мониторинговые исследования, относится к песчано-суглинистым, лесолуговым поймам. Район находится в границах Русской платформы в излучине реки Дон на территории Восточно-Донской пластово-ярусной гряды. Поверхность гряды (пологоволнистая равнина) имеет уклон в южном направлении, где преобладают отметки абсолютных высот 140-250 м. Местами встречаются глубокие овраги и промоины.

Погодные условия Иловлинского района за вегетационный период 2024 года характеризовались как не очень благоприятные для растительности. Весь весенний период в регионе исследований отмечались дни с минусовой температурой воздуха. В марте мини-

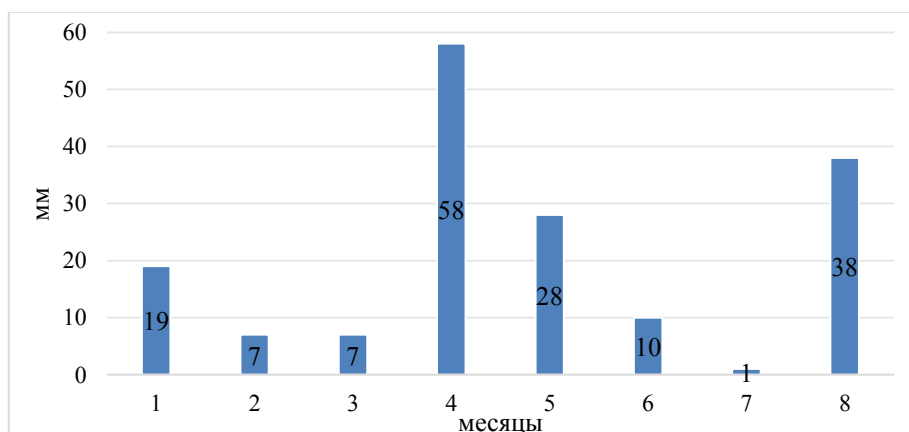
мальные температуры достигали $-11,3^{\circ}\text{C}$, в апреле $-0,3^{\circ}\text{C}$, в мае $-2,3^{\circ}\text{C}$, рисунок 1. Максимальная температура воздуха отмечалась в июле ($38,9^{\circ}\text{C}$) и августе ($36,1^{\circ}\text{C}$). При этом максимальное количество осадков выпало в июне (58 мм), июле (28 мм) и октябре (38 мм). Сухими были сентябрь, когда выпало осадков 1 мм, а также весенние месяцы – апрель и май, когда выпало по 7 мм осадков, рисунок 2.



1 – март, 2 – апрель, 3 – май, 4 – июнь, 5 – июль, 6 – август, 7 – сентябрь, 8 – октябрь
1 – March, 2 – April, 3 – May, 4 – June, 5 – July, 6 – August, 7 – September, 8 – October

Рисунок 1 – Среднемесячная, минимальная и максимальная температура воздуха за вегетационный период, установленная в 2024 году на мониторинговых площадках Иловлинского района
Figure 1 – The average monthly, minimum and maximum air temperature during the growing season, set in 2024 at the monitoring sites of the Ilovinsky district

Таким образом, весенний период с резкими амплитудами температур и недостатком осадков отрицательно сказался на наращивании фитомассы травостоя. Ряд весенних дней с заморозками, различными по понижениям температур и продолжительности, а также дефицит влаги ухудшили состоянии сенокосных лугов. Особенно пострадали слабо развитые растения и изреженные фитоценозы, злаковые виды, которые находились в фазе выхода в трубку (в период активации процессов формирования продуктивных органов), а также растения, обитающие на ветроударных склонах. В летний период погодные условия складывались более благоприятно.



1 – март, 2 – апрель, 3 – май, 4 – июнь, 5 – июль, 6 – август, 7 – сентябрь, 8 – октябрь
1 – March, 2 – April, 3 – May, 4 – June, 5 – July, 6 – August, 7 – September, 8 – October

Рисунок 2 – Количество выпавших осадков за вегетационный период 2024 года на мониторинговых площадках Иловлинского района
Figure 2 – The amount of precipitation during the growing season of 2024 at the monitoring sites of the Ilovinsky district

Помимо погодных условий на видовое разнообразие и продуктивность луговой растительности, а также на почвенно-микробиологические процессы, солевой режим влияют пойменные процессы. Пойменные почвы ежегодно обогащаются большим количеством элементов питания в форме аллювиальных наносов, которые являются естественным удобрением для луговых сообществ. В связи с тем, что русло реки непрерывно мигрирует, аллювиальные наносы характеризуются неоднородностью механического состава (песчаные трансформируются в суглинистые, суглинистые – в песчаные). Плодородие пойменных почв ежегодно зависит от особенностей весеннего паводка.

Луговые многолетние травы лучше развиваются при наименьшей влагоемкости почвы около 70-80 %, когда поры в почве заполнены водой. За вегетационный период луговые травы испаряют до 50 тыс. ц воды с 1 га. Поэтому для нормального развития им необходима достаточная влажность почвы. Как недостаток, так и избыток воды в почве сказывается на урожайности лугов. Считается, что оптимальная глубина стояния грунтовых вод в течение вегетационного периода должна быть на сенокосах 60-70 см, а на пастбищах 80-90 см. Отдельные травы имеют свой оптимум глубины залегания грунтовых вод. При весеннем затоплении степной и пустынной растительности смена более урожайной растительности может произойти не менее чем через 5-10 лет. Поэтому в этом случае целесообразно подсевать ценные кормовые травы.

Немаловажную роль в формировании фитомассы играет количество укосов и сроки сенокосения лугов. Изменение травостоя под влиянием сенокосения (или сенокосная деформация ценоза) отмечается как на природных, так и на сеяных фитоценозах. Сенокосение влияет на видовой состав сообществ, обилие и мощность развития определённых видов или биологических групп в травостое. При сенокосении уничтожается природная, конкурирующая с травами растительность, появляются новые группировки (особенно при искусственно сеяных сенокосах), изменяются условия развития и роста трав, а, следовательно, и продуктивность сообществ.

На дернину и почву непосредственного влияния сенокосение не оказывает. По некоторым данным, в первые несколько лет после прекращения сенокосения наземная биомасса травяного яруса резко возрастает, но дальше снижается. Долговременное двукосное использование сенокоса может привести к постепенному обеднению почвы питательными минеральными веществами (за счёт отчуждения с биомассой), снижению продуктивности и потребует внесения удобрений [13].

Естественные и фитомелиорированные сенокосы опытных участков показаны на рисунках 3 и 4.



Рисунок 3 – Естественные сенокосы Иловлинского песчаного массива, 2024
Figure 3 – Natural hayfields of the Ilovinsky sandy massif, 2024



Рисунок 4 – Фитомелиорированные сенокосы в условиях пойменной экосистемы бассейна реки Дон, 2024

Figure 4 – Phytomeliorated hayfields in the conditions of the floodplain ecosystem of the Don River basin, 2024

Значительно сказывается на скорости и мощности отрастания травянистого яруса, изменении видового разнообразия и структуре луговых ассоциаций время скашивания. Снижает численность популяции доминирующих видов сенокосение в периоды их бутонизации или выхода в трубку, не позднее цветения эфемеров.

Сенокосение при цветении доминирующих видов семейства Poaceae и Fabaceae не даёт возможности образования семян и самообсеменения и угнетает такие виды, как *Festuca pratensis* Huds., *Stipa capillata* L., *Stipa lessingiana* Trin. & Rupr., *Stipa ucrainica* P. A. Smirn., которые выпадают из ценоза. Долше других держатся виды, которые способны к вегетативному размножению: *Elytrigia repens* (L.) Nevski и *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub. Однако при задернении и уплотнении почвы и они выпадают из травостоя. Наиболее устойчив к неблагоприятным условиям низовой злак *Poa pratensis* L.

Видовое разнообразие и урожайность луговых фитоценозов при разных режимах использования (сенокосный, сенокосно-пастбищный) и сроках уборки трав на сено представлены в таблице 1.

Контрольными укосами было установлено, что средняя урожайность естественных луговых трав при поздневесенне-раннелетних укосах в 2024 году составила 246-357 г/м², а при позднелетних укосах – 178-245 г/м². Средняя урожайность фитомелиорированных сенокосов при уборке трав на сено в конце весны достигла 201-324 г/м². Снижение урожайности лугов при сенокосно-пастбищном режиме использования, как на естественных (в 1,5 раза), так и на фитомелиорированных (в 1,6 раза) сенокосах, объясняется нарушением регламента их использования, обеспечивающего сохранения экологической устойчивости. Был осуществлён ранневесенний выпас с последующим сенокосением. На сенокосных лугах весенний выпас животных недопустим. Особенно при негативных погодных явлениях (недостаток влаги и резкие перепады температуры) в весенний период, как было в 2024 году, снижающих наращивание фитомассы. Такой выпас обуславливает поздние сроки первого укоса, снижает урожайность трав, изменяет к худшему состав травостоя, угнетает развитие ценных кормовых видов, а также увеличивает долю сорных видов в фитоценозе. Крупные несъедобные сорняки при этом разрастаются и образуют большое количество семян, т.к. при выпасе все более быстро и мощно нарастающие злаки и бобовые стравливаются.

Выпасная площадь позволяла скоту использовать траву неравномерно. Участки травостоя с худшими по видовому составу, переросшие, затоптанные и загрязнённые экскрементами растения часто оставались неиспользованными. Наиболее отдалённые от фермы участки были слабо вытравленными, использованными не более чем на 1/2. Скот, направляясь от фермы на новые участки, ежедневно проходил по стравленным участкам, утапывал их и всё время подтравливал отрастающую траву. Поэтому ближние луга сенокосно-пастбищного режима использования всегда более утопаны и вытравлены, чем дальние.

Таблица 1 – Урожайность и видовое разнообразие лугового травостоя при разных режимах использования кормовых угодий, 2024 г.

Table 1 – Productivity and species diversity of meadow grass under different modes of use of forage lands, 2024

№ по- лигона / № Polygon	Режим использования / Usage mode	Средняя урожайность, г/м ² (число видов, шт./м ²) / Average yield, g/m ² (number of species, pcs./m ²)				Средняя высота, см / Average height, cm
		общая / general	злаки / cereals	полыни / wormwood	разно- травье / motley grass	
естественные сенокосы (сроки уборки трав на сено III декада мая – I декада июня) / natural haymaking (terms of harvesting herbs for hay III decade of May – I decade of June)						
1a	сенокосный / haymaking	357 (6)	257 (4)	75 (1)	25 (1)	72
1б	сенокосно-пастбищный / haymaking and pasture	246 (5)	189 (2)	32 (1)	25 (2)	65
естественные сенокосы (сроки уборки трав на сено III декада августа) / natural haymaking (the timing of harvesting herbs for hay is the third decade of August)						
2a	сенокосный / haymaking	245 (8)	122 (3)	59 (2)	64 (3)	68
2б	сенокосно-пастбищный / haymaking and pasture	178 (5)	89 (2)	32 (1)	57 (2)	74
фитомелиорированные сенокосы* (сроки уборки трав на сено III декада мая) / phytomeliorated hayfields* (terms of harvesting herbs for hay III decade of May)						
3a	сенокосный / haymaking	324 (6)	285 (2)	36 (2)	3 (2)	84
3б	сенокосно-пастбищный / haymaking and pasture	201 (5)	99 (2)	42 (1)	60 (2)	69

Примечание:*Волгоградская область, Иловлинский р-он, Качалино, к.н.: 34:08:000000:6.

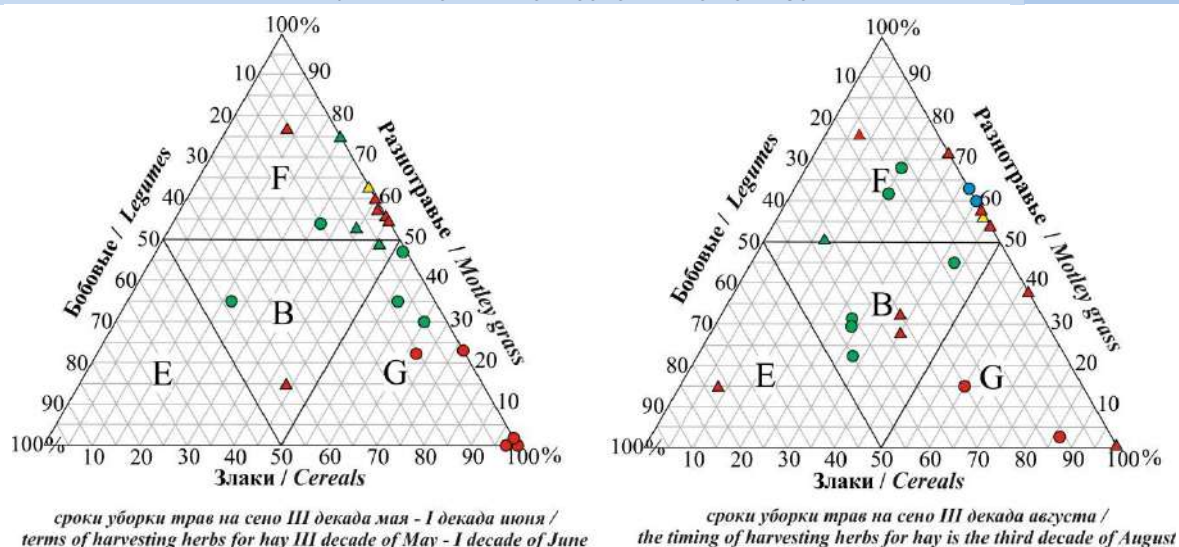
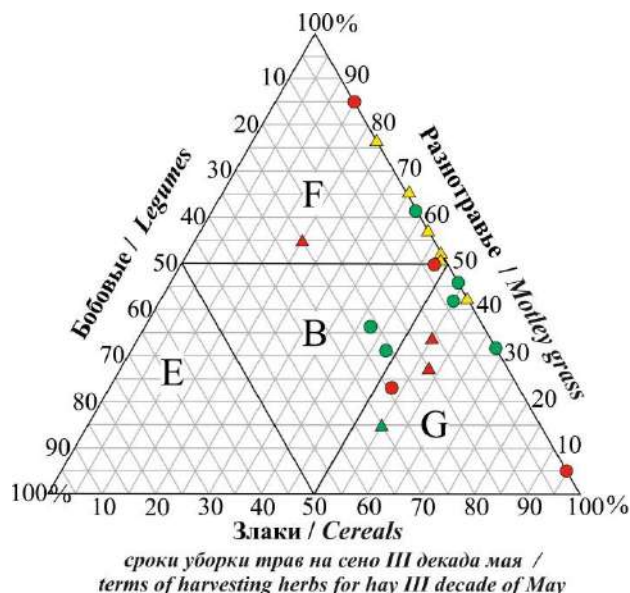
Note:*Volgograd region, Ilovlinsky district, Kachalino, cadastral number: 34:08:000000:6.

Выявлены следующие особенности видового разнообразия естественных сенокосов, сформированных в условиях вегетационного периода 2024 года. В фитоценозе естественного луга, используемом в режиме сенокосы-пастбище, по сравнению с сенокосным режимом при укосе за период III декада мая – I декада июня общее видовое разнообразие уменьшилось с 6 до 5 шт./м², в основном за счёт злаков (с 4 до 2 шт./м²). Но при этом увеличилось видовое разнообразие разнотравья (с 1 до 2 шт./м²). При укосе травостоя естественного луга в III декаде августа при сенокосно-пастбищном режиме использования отмечено снижение видового разнообразия всего травостоя (злаки, полыни и разнотравье) с 8 до 5 шт./м². Фитомелиорированные сенокосы отличались тем, что в режиме сенокосы-пастбище по сравнению с сенокосным режимом использования при укосе в III декаде мая на них снизилось видовое разнообразие полыни (с 2 до 1 шт./м²), но видовое разнообразие злаков (2 шт./м²) и разнотравья не изменилось (2 шт./м²), таблица 1.

Среднее доленое участие злаковых видов в фитомассе (%) при укосе в III декаде мая – I декаде июня достигало при сенокосном режиме 66,7 %, при сенокосно-пастбищном режиме – 47,7 %. При укосе в III декаде августа среднее доленое участие злаковых видов в фитомассе (%) при сенокосном режиме достигало 40,9 %, при сенокосно-пастбищном режиме – 52,3 %. При сенокосно-пастбищном режиме использования естественных сенокосов в общей фитомассе значительно снижалось доленое участие бобовых видов (на 10,65 % при укосе в III декаде мая – I декаде июня; на 9,5 % при укосе в III декаде августа). Среднее доленое участие разнотравья в общей фитомассе увеличивалось на 22,8 % при укосе в III декаде мая – I декаде июня, но снижалось на 1,9 % при укосе в III декаде августа.

Фитомелиорированные сенокосы характеризуются тем, что при уборке трав на сено в мае и сенокосно-пастбищном режиме использования среднее доленое участие злаковых видов в общей фитомассе достигало 43,0 %, при сенокосном режиме использования их доля составляла 50,7 %. При сенокосно-пастбищном режиме использования фитомелиорированных лугов в фитомассе увеличивался % разнотравья с 41,2 % до 51,0 %.

Процентное содержание фитомассы бобовых и злаковых видов, а также разнотравья в общей фитомассе в расчёте на 1 м² при разных режимах использования и сроках уборки трав на сено представлено на рисунке 5.

**Естественные сенокосы / Natural haymaking****Фитомелиорированные сенокосы / Phytomeliorated hayfields**

△ - сенокосно-пастбищный режим использования /
haymaking and pasture mode of use

○ - сенокосный режим использования /
haymaking mode of use

Количество видов, шт. /
Number of species, pieces

■ - 1-2 ■ - 3-5 ■ - 6-10 ■ - >10

Рисунок 5 – Диаграмма компонентов растительности луговых фитоценозов на участках, приуроченных к припойменным и балочным аллювиально луговым песчаным и супесчаным отложениям Донского бассейна, 2024 г.

Figure 5 – Diagram of vegetation components of meadow phytocenoses in areas associated with floodplain and gullying alluvial meadow sandy and sandy loam deposits of the Don basin, 2024

Максимальное участие бобовых видов (12-45 %) в фитомассе отмечено на естественных сенокосах при сенокосном режиме использования и сроках уборки трав на сено в III декаде августа, когда в фитоценозах отмечалось максимальное количество видов на 1 м² (до 11-12 шт./м²).

Урожай и качество естественных сенокосов и пастбищ напрямую зависит от их хозяйственного состояния. Из-за отсутствия надлежащего ухода и неправильного использования эти угодья дают низкие урожаи. Применяя различные методы улучшения, можно поддержать луг в лучших в кормовом отношении стадиях – корневищной и рыхлокустовой. Система поверхностного улучшения сенокосов и пастбищ заключается в том, чтобы улучшением водного, воздушного и пищевого режимов, уходом за дерниной и травостоем наиболее длительное время удерживать кормовые угодья в состоянии наибольшей хозяйственной ценности. В случае наступления плотнокустовой стадии кормовые угодья можно улучшить созданием сеяных сенокосов и пастбищ и поддержанием оптимальной нагрузки на них при выпасе сельскохозяйственных животных. Поверхностное улучшение целесообразно на лугах, где в травостое сохранилось 20-25 % ценных кормовых трав. Сеяные луговые травы благодаря высокой кормовой ценности и способности давать высокие урожаи играют большую роль в создании прочной кормовой базы.

Для создания сенокосных угодий необходимо подбирать травы с одинаковым вегетационным периодом и примерно с одинаковыми сроками прохождения фенологических фаз для того, чтобы получить наибольший урожай и второй укос. Бобово-злаковый травостой сенокосов при краткосрочном пользовании должен содержать по массе верховых злаков и верховых бобовых примерно равное количество (по 50 %), а при долголетнем пользовании – злаков около 70 %. На долголетних пастбищах целесообразно иметь в травостое бобовых до 30 %, верховых злаков до 20 % и низовых злаков до 50 %.

В травосмеси для пастбищного использования хорошо включать как ранне-, средне- и позднеспелые травы, которые хорошо отрастают после стравливания. Для разнообразия пастбищного корма перспективен высев двух травосмесей из раннеспелых и из средне- и позднеспелых трав. При этом удлиняется первый цикл пастбы на 10-15 дней за счёт поздней смеси, которую следует начинать стравливать позднее ранней смеси (на пастбищах это две разные зоны).

Продуктивное долголетие и агромелиоративное состояние сенокосов поддерживается постоянным эксплуатационным уходом, проведение которого предупреждает развитие деградационных процессов.

Выводы. Мониторинговое обследование кормовых ресурсов, изучение видового разнообразия и урожайности произрастающих и составляющих основное флористическое богатство фитоценозов, а также оценка факторов, влияющих на их изменение, является первостепенным моментом установления экологического состояния территории Донского бассейна. Исследованиями было выявлено, что средняя урожайность естественных луговых трав при поздневесенне-раннелетних укосах в 2024 году составила 246-357 г/м², а при позднелетних укосах – 178-245 г/м². Средняя урожайность фитомелиорированных сенокосов при уборке трав на сено в конце весны достигла 201-324 г/м². Как на естественных, так и на фитомелиорированных сенокосах при всех режимах использования в общей фитомассе в основном доминировали злаки (40,9-66,7 % – при сенокосном режиме на естественных угодьях; 47,7-52,3 % – при сенокосно-пастбищном режиме на естественных угодьях; 50,7 % – при сенокосном режиме на фитомелиорированных угодьях). Исключение: сенокосно-пастбищный режим на фитомелиорированных угодьях, когда доля злаковых видов в фитомассе составила 43,0 %, доля разнотравья при этом достигла 51,0 %, а бобовых видов – 6 %. Нерегулируемый сенокосно-пастбищный режим на участках, приуроченных к припойменным и балочным аллювиально луговым песчаным и супесчаным отложениям Донского бассейна, снизил продуктивность сенокосов в 1,5-1,6 раза и их кормовую ценность за счёт уменьшения доли бобовых видов и полыни, а также увеличения сорного разнотравья.

Conclusions. Monitoring of forage resources, studying the species diversity and yields of grasses growing and constituting the main floral wealth of phytocenoses, as well as assessing the factors influencing their change, is the primary moment in establishing the ecological status of the Don river basin territory. Studies have revealed that the average yield of natural meadow grasses at late spring and early summer mowing in 2024 was 246-357 g/m², and at late summer mowing – 178-245 g/m². The average yield of phytomeliorated hayfields when harvesting grasses for hay in late spring reached 201-324 g/m². In both natural and phytomeliorated hayfields, under all modes of use, cereal species dominated the total phytomass (40.9-66.7 % – under the haymaking regime on natural lands; 47.7-52.3 % – under the haymaking and pasture regime on natural lands; 50.7 % – under the haymaking regime on phytomeliorated lands). The exception is the hay and pasture regime on phytomeliorated lands, when the share of cereal species in the phytomass was 43.0 %, the share of mixed grasses reached 51.0%, and legume species – 6 %. The unregulated haymaking and pasture

regime in areas confined to the floodplain and gullying alluvial meadow sandy and sandy loam deposits of the Don basin reduced the productivity of hayfields by 1.5-1.6 times and their forage value due to a decrease in the proportion of legume species and wormwood, as well as an increase in weeds.

Библиографический список

1. Кулик А. К., Власенко М. В. Стационарные исследования на гидрологическом комплексе фнц агро-экологии РАН. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 6-12.
2. Рыбашлыкова Л. П., Сивцева С. Н., Маховикова Т. Ф. Урожайность и питательная ценность кормовой массы фитоценозов лесопастбищ на песках Терско-Кумского междуречья. Растительные ресурсы. 2021. Т. 57. № 3. С. 224-232.
3. Vlasenko M., Salugin A. Spatial distribution of plant phytocomplexes on the hilly-ridge sandy territories of the Don basin. E3s web of conferences: IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development. Namangan, 2024. P. 05005.
4. Salugin A. N., Kulik A. K., Balkushkin R. N. Simulation of Groundwater Formation on Sand Masses of the Don Region: The Case of the Etereyskaya Mass of Sands. Arid Ecosystems. 2023. V. 13. No. 1. Pp. 115-124.
5. Тютюма Н. В., Булахтина Г. К., Тютюма Н. А. Антропогенный фактор опустынивания аридных территорий Астраханской области. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 53-58.
6. Rybashlykova L. P., Lepesko V. V. Assessment of Natural and Forest Reclaimed Forage Lands in Semi-Desert Conditions in Southern Russia. Russian Forestry Journal. 2021. No. 3 (381). Pp. 37-48.
7. Суров А. И., Лапенко Н. Г., Хонина О. В. и др. Степные экосистемы юга России как фактор эффективного развития животноводства. Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19. № 1 (70). С. 95-104.
8. Лазарева В. Г., Бананова В. А., Нгуен В. З. Динамика современной растительности при пастбищном использовании в Северо-Западном Прикаспии. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 4 (85). С. 26-34.
9. Шагайпов М. М., Эсхаджиева Х. Х., Гаплаев М. Ш. Роль пастбищных растений в экологии полупустыни. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2023. № 2 (56). С. 40-42.
10. Бабаева М. А., Осипова С. В. Особенности пастбищных кормовых растений Терско-Кумской низменности при антропогенном прессинге. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 52-56.
11. Бородачев В. В., Власенко М. В., Кулик А. К. Сезонные изменения кормовой продуктивности аридных пастбищ. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 14-24.
12. Rybashlykova L. P., Turko S. Yu. Agroclimatic conditions influencing wheatgrass (*Agropyron pectinatum*, M. Biev.) production in Volgograd region of southern Russia. Journal of Agrometeorology. 2024. V. 26. No. 3. Pp. 367-369.
13. Vlasenko M. V., Turko S. Yu. Comprehensive assessment of the effectiveness of the use of phytomeliorated hayfields in an arid floodplain ecosystem. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2024. V. 9. P. 100675.
14. Ишакаева М. К., Симанскова Н. В., Чумакова В. В., Шляхов В. А. Оценка биологической фитомелиорации пойменных лугов Северного Прикаспия. Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 2 (17). С. 4-13.
15. Larionov M. V., Dogadina M. A., Tarakin A. V. et al. Creation of artificial phytocenoses with controlled properties as a tool for managing cultural ecosystems and landscapes. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 848. 12127.
16. Дедова Э. Б., Маштыков К. В., Кониева Г. Н., Гольдварг Б. А. Фитомелиоративные приёмы реставрации деградированных пастбищных угодий Северо-Западного Прикаспия. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 4 (388). С. 348-350.
17. Гребенников В. Г., Шипилов И. А., Хонина О. В., Ашибокова Л. Р. Способы улучшения низкопродуктивных сенокосов и пастбищ в засушливых районах. Аграрная наука. 2021. № 7-8. С. 81-84.
18. Турко С. Ю. Предложения по технологии создания пастбищных экосистем на зональных почвах полупустыни. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 1 (77). С. 111-116.
19. Турко С. Ю., Власенко М. В., Кулик А. К. Математическое описание процессов роста и урожайности кормовых культур в аридных условиях. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (38). С. 18-22.
20. Булахтина Г. К., Кудряшова Н. И., Подопригоров Ю. Н. Исследование адаптивного потенциала кормовых кустарников для создания зоомелиоративных насаждений в полупустынных пастбищных экосистемах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 135-144.
21. Булахтина Г. К. Подбор кормовых кустарников для реставрации деградированных полупустынных пастбищных экосистем. Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 5. С. 2-13.
22. Булахтина Г. К., Подопригоров Ю. Н., Хюпинин А. А. Результаты исследований различных приёмов создания кормовых угодий в аридном регионе Северного Прикаспия. Аграрный вестник Урала. 2021. № 6 (209). С. 2-11.

References

1. Kulik A. K., Vlasenko M. V. Stationary research at the hydrological complex of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2016. No. 4(64). pp. 6-12.
2. Rybashlykova L. P., Sivtseva S. N., Makhovikova T. F. Yield and nutritional value of the fodder mass of phytocenoses of forest pastures on the sands of the Terek-Kuma interfluvium. Plant resources. 2021. V. 57. No. 3. Pp. 224-232.
3. Vlasenko M., Salugin A. Spatial distribution of plant phytocomplexes on the hilly-ridge sandy territories of the Don basin. E3s web of conferences: IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development. Namangan, 2024. P. 05005.
4. Salugin A. N., Kulik A. K., Balkushkin R. N. Simulation of Groundwater Formation on Sand Masses of the Don Region: The Case of the Etereyskaya Mass of Sands. Arid Ecosystems. 2023. V. 13. No. 1. Pp. 115-124.
5. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Tyutyuma N. A. Anthropogenic Factor of Desertification of Arid Territories of the Astrakhan Region. Arid ecosystems. 2023. V. 29. No. 1 (94). Pp. 53-58.
6. Rybashlykova L. P., Lepesko V. V. Assessment of Natural and Forest Reclaimed Forage Lands in Semi-Desert Conditions in Southern Russia. Russian Forestry Journal. 2021. No. 3 (381). Pp. 37-48.

7. Surov A. I., Lapenko N. G., Khonina O. V., et al. Steppe ecosystems of the south of Russia as a factor in the effective development of animal husbandry. The South of Russia: Ecology, Development. 2024. V. 19. № 1 (70). Pp. 95-104.
8. Lazareva V. G., Bananova V. A., Nguyen V. Z. Dynamics of Modern Vegetation in Pasture Use in the North-Western Caspian Region. Arid ecosystems. 2020. V. 26. № 4 (85). Pp. 26-34.
9. Shagaipov M. M., Eskhadzhieva Kh. Kh., Gaplaev M. Sh. Role of pasture plants in the ecology of semi-deserts. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2023. № 2 (56). Pp. 40-42.
10. Babaeva M. A., Osipova S. V. Features of pasture fodder plants of the Terek-Kuma lowland under anthropogenic pressure. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2021. № 1. Pp. 52-56.
11. Borodychev V. V., Vlasenko M. V., Kulik A. K. Seasonal changes in fodder productivity of arid pastures. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. № 1 (61). Pp. 14-24.
12. Rybashlykova L. P., Turko S. Yu. Agroclimatic conditions influencing wheatgrass (*Agropyron pectinatum*, M. Biev.) production in Volgograd region of southern Russia. Journal of Agrometeorology. 2024. V. 26. No. 3. Pp. 367-369.
13. Vlasenko M. V., Turko S. Yu. Comprehensive assessment of the effectiveness of the use of phytomeliorated hayfields in an arid floodplain ecosystem. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2024. V. 9. P. 100675.
14. Ishakaeva M. K., Simanskova N. V., Chumakova V. V., Shlyakhov V. A. Assessment of Biological Phytomelioration of Floodplain Meadows of the Northern Caspian Sea. Agricultural Journal. 2024. № 2 (17). Pp. 4-13.
15. Larionov M. V., Dogadina M. A., Tarakin A. V. et al. Creation of artificial phytocenoses with controlled properties as a tool for managing cultural ecosystems and landscapes. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 848. 12127.
16. Dedova E. B., Mashtykov K. V., Konieva G. N., Goldvarg B. A. Phyto-reclamation methods of restoration of degraded pasture lands of the North-Western Caspian region. International Agricultural Journal. 2022. № 4 (388). Pp. 348-350.
17. Grebennikov V. G., Shipilov I. A., Khonina O. V., Ashibokova L. R. Ways to Improve Low-Productive Hayfields and Pastures in Arid Areas. Agrarian science. 2021. № 7-8. Pp. 81-84.
18. Turko S. Y. Proposals for the Technology of Creating Pasture Ecosystems on Zonal Soils of Semi-Deserts. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2020. № 1 (77). Pp. 111-116.
19. Turko S. Yu., Vlasenko M. V., Kulik A. K. Mathematical Description of Growth Processes and Yield of Fodder Crops in Arid Conditions. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2016. № 2 (38). Pp. 18-22.
20. Bulakhtina G. K., Kudryashova N. I., Podoprigrorov Y. N. Study of the adaptive potential of fodder shrubs for the creation of zoo-reclamation plantations in semi-desert pasture ecosystems. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. № 1 (61). Pp. 135-144.
21. Bulakhtina G. K. Selection of fodder shrubs for the restoration of degraded semi-desert pasture ecosystems. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. V. 23. № 5. Pp. 2-13.
22. Bulakhtina G. K., Podoprigrorov Y. N., Hyupinin A. A. Results of Studies of Various Methods of Forage Land Creation in the Arid Region of the Northern Caspian Sea. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. № 6 (209). Pp. 2-11.

Информация об авторах

Власенко Марина Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6356-2225>, e-mail: vlasencomarina@mail.ru

Кулик Алексей Константинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0001-5927-7336, e-mail: kulikak79@yandex.ru

Authors' Information

Vlasenko Marina Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6356-2225>, e-mail: vlasencomarina@mail.ru

Kulik Aleksey Konstantinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Candidate of agricultural sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-5927-7336, e-mail: kulikak79@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-10

THE EFFECT OF FERTILIZERS ON THE EFFICIENCY OF CULTIVATION THE NEW VARIETY OF OATS «DRAGUN» IN THE VOLGA FOREST-STEPPE**Vlasov V. G.**

*Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev,
Timiryazevsky settlement, Ulyanovsk Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vlasval11@rambler.ru

Received 24.02.2025

Submitted 10.04.2025

The work was carried out within the framework of the State Research Assignment "Development of an adaptive landscape farming system of a new generation and innovative apparatus technologies that ensure the effective use of bioclimatic potential in the formation of yields of major crops and reproduction of soil fertility in the conditions of the Volga forest steppe" (FMRW-2022-0015) for 2022-2024.

Summary

The article presents the results of studying the influence of various levels of mineral nutrition and seed seeding rates on the formation of yields, grain quality and economic efficiency of growing a new variety of oats using a stubble precursor in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region.

Abstract

Introduction. Oats in the Middle Volga region belong to important grain crops. The introduction of a new variety into production is the most affordable means of increasing the efficiency of using soil, climatic, labor, financial and logistical resources. The development of elements of its cultivation technology that ensure high productivity of agrocenoses and profit generation is one of the foundations for the successful distribution and use of the variety in production. **Object.** The object of study was the Dragun oat variety, which is recommended for cultivation in 5 regions of the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation (3, 4, 5, 7, 9). **Materials and methods.** The research was carried out in 2022-2024 on the experimental field of the Laboratory of agricultural crop cultivation technologies of the Ulyanovsk Research Institute of Agricultural Sciences, a branch of the SamSC RAS. The experiments, observations and analyses were carried out according to the methodology of the Russian Academy of Sciences and State Tests of field crops. **Results and conclusions.** In 2023 and 2024, the ratio of precipitation to the sum of air temperatures above 10 °C was 30-50 % less than normal, which negatively affected the yield of Dragun oats. The soil supply with productive moisture to a depth of 1 meter was good at the initial stage of Dragun oat development (according to B. A. Dospekhov, 1987). By the middle of the growing season, this indicator became bad and by the end it became very bad. After germination, nitrate nitrogen in the arable layer was contained on fertilized backgrounds by 3.7-4.9 times more than in the control. In the future, its content here exceeded the non-maneuverable version by 1.5-1.9 times. Insufficient moisture supply of the soil during the years of research did not allow the studied variety to form the maximum possible yield. On a natural background, the average for all seeding standards was 3.02 t/ha. Dragun has the highest yield (4.67 t/ha) when placed on a background designed for a yield of 5.0 t/ha with a seeding rate of 5.5 million/ha. Its increase from a minimum to 4.5 million tons/ha led to a significant increase in grain yield per unit area by an average of 0.22 tons/ha. The highest profit (15.7 thousand rubles/ha) was formed on an estimated fertilizer dose of 4.0 tons/ha using a seeding rate of 4.5 million/ha. On the 1st background, compared with the 2nd, the payback of 1 kg of d.a. macro fertilizer by additional grain yield increased by 34-54 %.

Keywords: spring oats, Dragun variety, mineral fertilizers, seeding rate, yield.

Citation. Vlasov V. G. The effect of fertilizers on the efficiency of cultivation the new variety of oats «Dragun» in the Volga forest-steppe. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 97-107 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-10.

Author's contribution. The author of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. The author of this article have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

УДК 633.13:631.559

**ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ
НОВОГО СОРТА ОВСА ДРАГУН В ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ**

Власов В. Г., кандидат сельскохозяйственных наук

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева
п. Тимирязевский, Ульяновская область, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках выполнения Государственного задания по НИР «Разработка адаптивно-ландшафтной системы земледелия нового поколения и инновационных агротехнологий, обеспечивающих эффективное использование биоклиматического потенциала при формировании урожайности основных сельскохозяйственных культур и воспроизводство почвенного плодородия в условиях лесостепи Поволжья» (FMRW-2022-0015) на 2022-2024 гг.

Резюме. В статье представлены результаты изучения влияния различных уровней минерального питания и норм высева семян на формирование урожайности, качество зерна и экономическую эффективность выращивания нового сорта овса по стерневому предшественнику в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Актуальность. Овес в Среднем Поволжье относится к важным зернофуражным культурам. Внедрение в производство нового сорта – это наиболее доступное средство повышения эффективности использования почвенно-климатических, трудовых финансовых и материально-технических ресурсов. Разработка элементов технологии его возделывания, обеспечивающих высокую продуктивность агроценозов и получение прибыли, служит одной из основ успешного распространения и использования сорта в производстве. **Объект.** Объектом изучения являлся сорт овса Драгун, который рекомендован для возделывания в 5 регионах Государственного реестра селекционных достижений Российской Федерации (3, 4, 5, 7, 9). **Материалы и методы.** Исследования проводили в 2022-2024 гг. на опытном поле лаборатории технологий возделывания с.-х. культур Ульяновского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН. Закладка опытов, анализы и наблюдения проведены согласно методикам РАН и Госсортиспытания сельскохозяйственных культур. **Результаты и выводы.** В 2023 и 2024 годах соотношение количества выпавших осадков к сумме температур воздуха выше 10 °C было на 30-

50 % меньше нормы, что негативно сказалось на урожайности овса сорта Драгун. Обеспеченность почвы продуктивной влагой на глубину до 1 метра на начальном этапе развития овса Драгун была хорошей (по Б. А. Доспехову, 1987). К середине вегетации этот показатель стал плохим и концу – очень плохим. После всходов нитратного азота в пахотном слое содержалось на удобренных фонах в 3,7-4,9 раза больше, чем на контроле. В дальнейшем его содержание здесь превышало неудобренный вариант в 1,5-1,9 раза. Недостаточная влагообеспеченность почвы в годы исследований не позволила изучаемому сорту сформировать максимально возможную урожайность. На естественном фоне в среднем по всем нормам высева она составила 3,02 т/га. Наибольшая урожайность (4,67 т/га) отмечена у Драгуна при размещении по фону, рассчитанному на урожайность 5,0 т/га с нормой высева 5,5 млн/га. Возрастание ее с минимальной до 4,5 млн/га привело к значительному повышению выхода зерна с единицы площади в среднем на 0,22 т/га. Самая высокая прибыль (15,7 тыс. руб./га) сформировалась на расчетной дозе удобрений на 4,0 т/га при использовании нормы высева 4,5 млн/га. На 1 фоне, по сравнению со 2, окупаемость 1 кг д.в. макроудобрения дополнительным урожаем зерна повысилась на 34-54 %.

Ключевые слова: овес яровой, сорт Драгун, минеральные удобрения, норма высева, урожайность.

Цитирование. Власов В. Г. Влияние удобрения на эффективность выращивания нового сорта овса Драгун в лесостепи Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 97-107 DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-10.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился с представленным окончательным вариантом и одобрил его.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В Российской Федерации овес является широко распространенной зерновой культурой, используемой на продовольственные и кормовые цели. Как отмечают многие ученые, зерно овса служит ценным концентрированным кормом, характеризующимся легкой усвояемостью. Протеин фуража содержит значительное количество незаменимых аминокислот. Особенно полезен он при кормлении лошадей. В пищевой промышленности продукты из зерна овса считаются диетическими, его используют в функциональном и лечебном питании человека [1, 2, 3].

Эффективность возделывания изучаемой культуры во многом зависит от внедрения новых экологически пластичных сортов, обладающих высоким потенциалом продуктивности, а также использования адаптивных для условий региона технологий возделывания [4, 5].

Многие исследователи считают, что овес отличается от других зерновых культур способностью формировать высокую урожайность на малоплодородных участках [6, 7]. Вместе с тем он обеспечивает существенную прибавку урожая и улучшает его качество при дополнительном минеральном питании [8, 9, 10].

Наши предыдущие исследования показали, что роль минеральных удобрений в увеличении урожайности рассматриваемой культуры в Среднем Поволжье составляет более 40 % (Власов В. Г., Якунин А. И., Захарова Л. Г. Окупаемость минеральных удобрений урожайностью зерна овса в условиях лесостепи Поволжья // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 11. С. 39-41.). В годы с хорошими условиями для влагообеспечения этот показатель может достигать 50 %.

Эффективность использования минеральных удобрений варьируется в зависимости от уровня влагозапасов и применяемых агрономических методов. Низкий уровень агротехники не позволяет получить от удобрения максимальную отдачу [11, 12].

Существенное влияние на формирование урожайности полевых культур оказывает также густота стояния растений. Норму высева корректируют в зависимости от почвенно-климатических условий и используемой технологии [13, 14, 15].

В современных условиях хозяйствования для товаропроизводителей особое значение имеет выбор экономически целесообразных элементов технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Не всегда достигнутая прибавка урожая ведет к увеличению прибыли [16, 17].

В Ульяновском НИИСХ – филиале СамНЦ РАН создан высокопродуктивный сорт овса Драгун, который рекомендован к возделыванию в 5 регионах Госреестра селекционных достижений РФ (3, 4, 5, 7, 9). В сортоиспытании сорт формировал урожайность выше 7,0 т/га (Каталог инновационных разработок и сортов сельскохозяйственных культур Ульяновского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН. Ульяновск: УлГТУ, 2023.). Для получения максимальной отдачи при использовании этого сорта в производстве необходимо определить его отзывчивость на фон питания при посеве с разными нормами высева.

Условия, материалы и методы. Исследование было проведено в период с 2022 по 2024 год на экспериментальном поле отдела земледелия и технологий Ульяновского НИИСХ, филиала Самарского научного центра Российской академии наук.

Объектом исследования послужил новый сорт ярового овса «Драгун» собственной селекции учреждения (Патент РФ на селекционное достижение № 11422 от 19.02.2021 г.). Сорт зернового направления, ценный по качеству зерна. Среднеспелый. Включён в Госреестр по Центральному (3), Волго-Вятскому (4), Центрально-Чернозёмному (5), Средневолжскому (7), Уральскому (9) регионам. Средняя урожайность при сортоиспытании в Средневолжском регионе составила 42,5 ц/га. В ходе испытаний в полевых условиях сорт продемонстрировал высокую устойчивость к корневым гнилям и мучнистой росе, а также умеренную устойчивость к ржавчинам (за исключением корончатой) и септориозу. Сорт оказался чувствительным к пыльной головне. Масса 1000 семян варьируется от 25 до 50 граммов, натура зерна – от 385 до 587 г/л. Данный сорт характеризуется стабильной урожайностью и адаптивностью к различным условиям выращивания, эффективно реагирует на применение агротехнических мероприятий, направленных на повышение урожайности (Каталог инновационных разработок и сортов сельскохозяйственных культур Ульяновского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН. Ульяновск: УлГТУ, 2023.).

В ходе научно-исследовательских испытаний, проведенных с учетом четырёхкратного повторения, анализировалось воздействие трёх уровней посевной нормы (3,5; 4,5 и 5,5 млн шт./га) и трёх вариантов минерального питания (контроль без внесения удобрений; расчётная доза минеральных удобрений на 4,0 т/га ($N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га д.в.); расчётная доза минеральных удобрений на 5,0 т/га ($N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га д.в.) на формирование урожайности и эффективность выращивания Драгуна.

Почвенно-климатические условия, в которых возделывался овес, тоже оказали важное влияние на функционирование агрофитоценоза.

Грунт опытного участка представлен выщелоченным среднегумусным среднесильно-тяжелосуглинистым черноземом. Этот тип почвы характеризуется высоким уровнем плодородия и обладает следующими агрохимическими показателями:

- Содержание органического вещества (гумуса) составляет 5,8-6,8 %, что соответствует высоким показателям плодородия согласно методу Тюрина.
- Реакция среды (рН KCl) находится в нейтральном диапазоне (6,9-7,2), что является оптимальным для большинства сельскохозяйственных культур.
- Содержание нитратного азота варьируется от 25 до 35 мг/кг, что свидетельствует о средней обеспеченности почвы данным элементом.
- Содержание подвижного фосфора находится в диапазоне 238-264 мг/кг, что указывает на очень высокую обеспеченность почвы данным элементом согласно шкале Чирикова.
- Содержание подвижного калия варьируется от 49 до 83 мг/кг, что соответствует средней обеспеченности почвы этим элементом.

В целом почвенный профиль характеризуется высоким уровнем плодородия, что делает его пригодным для выращивания различных сельскохозяйственных культур.

Для оценки климатических условий проведения полевых экспериментов использованы данные агроклиматических наблюдений Тимирязевского агрометеопоста.

Вегетационный период 2022 года отличался прохладным и дождливым маем с умеренными температурными условиями и обильными осадками. В июне температура и осадки также были умеренными, в июле наблюдались интенсивные ливневые дожди, а август характеризовался жаркой и засушливой погодой. Сумма активных температур за период май – июль составила 1544 °С, что на 56 °С ниже нормы. За период вегетации, с мая по август, выпало 351 мм осадков, что на 55 % выше нормы. Гидротермический коэффициент (ГТК) составил 1,6, что значительно превышает среднее значение 1,0.

Вегетационный период 2023 года отличался умеренно дождливым и теплым маем. В июне температуры были пониженными, а осадки незначительными. Июль характеризовался засушливыми условиями с низкими ночными температурами, а август – жаркой и засушливой погодой. Сумма активных температур за период май – август составила 2316 °С, что на 526 °С выше нормы. За вегетационный период с мая по август выпало 125 мм осадков (55 % от нормы). Гидротермический коэффициент (ГТК) был равен 0,5, что существенно ниже среднего значения 1,0.

В вегетационном периоде 2024 года наблюдались пониженные температуры и незначительные осадки в мае. В июне температура повысилась, а осадки стали обильными. Июль характеризовался жаркой и засушливой погодой в начале и середине месяца, а в первой половине августа прошли интенсивные дожди. Сумма осадков за период с мая по август составила 202,1 мм, что на 12 % ниже нормы. Гидротермический коэффициент – 0,7 (норма 1,0).

Таким образом 2 года (2023 и 2024) из 3 лет проведения полевого опыта были неблагоприятными по влагообеспеченности растений в период вегетации с гидротермическим коэффициентом 0,5-0,7, что на 30-50 % ниже нормы. Недостаток влаги оказал пагубное влияние на формирование урожайности.

Выращивание овса проводилось в рамках севооборота в качестве культуры, следующей за яровой пшеницей. Технологический процесс выращивания включал комплекс агротехнических мероприятий: отвальную обработку почвы после уборки предшественника; использование минеральных удобрений, ранневесеннее выравнивание поверхности поля зубowymi боронами, предпосевную обработку почвы перед посевом культиватором, посев семян селекционной сеялкой (СН-16) с последующим прикатыванием, защиту растений химическими средствами. Сбор урожая осуществлялся комбайном «Сампо – 500» поделочно, однофазно.

В процессе разработки программы НИР были применены следующие методические материалы: "Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур" (1985 г.), "Методика полевого опыта" авторства Б. А. Доспехова (1979 г.), "Практикум по земледелию" С. А. Воробьева (1987 г.) и "Методические указания по различным способам определения норм удобрений для сельскохозяйственных культур и их критическая оценка" М. И. Ходько (1996 г.).

Минеральные удобрения вносили согласно программе исследований путем разбрасывания вручную под предпосевную культивацию.

Для анализа данных об урожайности были использованы специализированные программные средства, а именно пакет "AGROS" для селекции и Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и обсуждение. Во время исследований фазы набухания и появления всходов сорта Драгун протекали при адекватной влажности и оптимальных температурах. Всходы стали заметны на 11-12 день после посева. Следует подчеркнуть, что количество взшедших растений тесно связано с нормой высева семян и показателем полевой всхожести.

Полевая всхожесть являлась определяющим фактором начальной густоты всходов.

На вариантах с самой низкой нормой после всходов насчитывали 304-309 шт./кв. м растений, с нормой высева 4,5 млн/га – 354-371 шт./кв. м и 5,5 млн/га – 411-446 шт./кв. м. В настоящих условиях всхожесть семян исследуемого сорта продемонстрировала средние показатели. Необходимо подчеркнуть, что при увеличении нормы высева с минимальной до 5,5 млн растений на гектар, наблюдалось снижение всхожести с 87 % до 77 %.

Период вегетации Драгуна находился в пределах 78-81 дней. В год исследований развитие болезней не имело эпифитотийного характера. Технологические факторы не оказали существенного воздействия на уровень заболеваемости у исследуемого сорта.

Полегания Драгуна не отмечалось. Перед уборкой сохранность растений составила 78-81 %.

Обеспечение почвы достаточным количеством доступной для растений влаги является ключевым фактором успешного роста и развития исследуемой культуры на ранних стадиях вегетации. Анализ запасов продуктивной влаги после всходов овса «Драгун» показал, что в метровом слое почвы их среднее значение составляло 139,5 мм, а в слое 0-30 см – 37,4 мм. Согласно классификации Б. А. Доспехова (1987), эти показатели свидетельствуют о хорошей обеспеченности влагой в метровом слое и удовлетворительной – в слое 0-30 см. К фазе колошения запасы влаги в метровом слое существенно сократились до 73,2 мм, а в слое 0-30 см – до 18,5 мм. После уборки урожая в пахотном горизонте находилось всего 14,2 мм влаги, в то время как в слое до одного метра – 49,1 мм.

Это свидетельствует о том, что условия для водообеспечения при выращивании овса сорта «Драгун» были благоприятными на начальных этапах вегетации. В середине вегетационного периода наблюдалась недостаточная обеспеченность влагой в пахотном горизонте и дефицит влаги в метровом слое. К концу вегетации условия водообеспеченности стали неудовлетворительными в пахотном слое и крайне неблагоприятными в метровом слое, что оказало определенное влияние на уровень урожайности сорта (таблица 1).

Таблица 1 – Запасы продуктивной влаги в посевах овса, мм (2022-2024 гг.)
Table 1 – Productive moisture reserves in oats crops, mm (2022-2024)

После всходов / After germination		Выметывание метелки / Panicle hatching		После уборки / After harvest	
0-30	0-100	0-30	0-100	0-30	0-100
37,4	139,5	18,5	73,2	14,2	49,1

У овса Драгун в начале вегетации содержание нитратного азота в пахотном слое, по сравнению с неудобренным фоном, повышалось на 1 и 2 фонах в 3,7-4,9 раза. В ходе исследования было установлено, что содержание данного элемента в исследуемом сорте во время фазы выметывания метелок превосходило контрольный вариант на 50-90 % и после уборки – на 70-90 %. На протяжении всего периода вегетации уровень подвижного фосфора оставался чрезвычайно высоким на всех вариантах эксперимента. Содержание подвижного калия у сорта "Драгун" на всех фонах было повышенным как после посева, так и в середине вегетации, а к концу вегетационного периода снизилось до среднего уровня (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика изменения подвижных форм NPK в слое 0-30 см в зависимости от уровней минерального питания, мг/100 г почвы (2022-2024 гг.)

Table 2 – Dynamics of changes in mobile forms of NPK in the 0-30 cm layer depending on the levels of mineral nutrition, mg/100 g of soil (2022-2024)

Срок / Term	Фон 0 / Background 0			Фон 1 / Background 1			Фон 2 / Background 2		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
После посева / After sowing	4,8	28,4	8,2	17,9	30,6	9,4	23,7	31,1	9,5
Выметывание / Sweeping	2,5	27,8	10,2	3,8	28,4	10,5	4,8	28,9	10,5
После уборки / After harvest	1,8	23,0	7,3	3,1	23,3	7,4	3,5	26,8	7,5

* Фоны: 0 – без удобрений; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ кг/га д.в.

* Backgrounds: 0 – no fertilizers; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ kg/ha a.i.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ kg/ha a.i.

Овес Драгун на неудобренном фоне в среднем по всем изучаемым нормам высева (3,5 млн/га, 4,5 млн/га, 5,5 млн/га) сформировал урожайность 3,02 т/га. 1 фон минеральных удобрений (N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в.) обеспечил прибавку урожайности 1,19 т/га и 2 фон (N₇₀P₃₅K₈₅ кг/га д.в.) – 1,57 т/га при НСР фактора 0,09-0,18 т/га. Увеличение нормы высева с 3,5 млн/га до 4,5 млн/га повысило урожайность этого сорта на неудобренном фоне на 0,21 т/га, на 1 фоне – 0,31 т/га и на 2 фоне – 0,13 т/га. Возрастание нормы высева с 4,5 млн/га до 5,5 млн/га не приводило к существенному росту урожайности. На 1 и 2 фоне прибавка была всего 0,02-0,05 т/га, на неудобренном – этот показатель даже уменьшился на 0,08 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность сорта Драгун в зависимости от уровней минерального питания и нормы высева, т/га (2022-2024 гг.)

Table 3 – Yield of the Dragun variety depending on the levels of mineral nutrition and seeding rate, t/ha (2022-2024)

Фон минеральных удобрений / Mineral fertilizer background	Норма высева, млн./га / Seeding rate, mln/ha			Среднее / Average
	3,5	4,5	5,5	
0	2,91	3,12	3,04	3,02
1	4,00	4,31	4,33	4,21
2	4,49	4,62	4,67	4,59
Среднее / Average	3,80	4,02	4,01	3,94
НСР ₀₅ : фактор А / НСР ₀₅ : Factor A	2022-0,18; 2023-0,09; 2024-0,16			
фактор В / Factor B	2022-0,18; 2023-0,09; 2024-0,12			
Варианты / Options	2022-0,44; 2023-0,23; 2024-0,39			

* Фоны: 0 – без удобрений; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ кг/га д.в.

* Backgrounds: 0 – no fertilizers; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ kg/ha a.i.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ kg/ha a.i.

Масса 1000 зерен варьировала у Драгуна от 33,5 до 35,6 граммов. Зерно с наибольшей массой 1000 зерен он сформировал при посеве с нормой 3,5 млн/га на 2 фоне минеральных удобрений. В среднем по всем нормам высева у изучаемого сорта на 1 фоне минеральных удобрений масса 1000 зерен, относительно неудобренного фона, увеличилась на 0,5 г и на 2 фоне – на 0,8 г.

Натура зерна Драгуна изменялась от 478,9 г/л на неудобренном фоне до 490,0 г/л на 2 фоне, что соответствует 4 классу товарного зерна.

Сравнение исследуемого показателя качества зерна, выравненности, показало ее стабильность независимо от доз удобрений и норм высева. Выравненность зерна Драгуна (2,-2,5 мм) варьировала в пределах 75,8-79,1 %.

Содержание пленчатых оболочек зерен овса сорта Драгун находилось в диапазоне от 27,5 % до 29,3 %. В среднем, по всем вариантам применения удобрений, показатель пленчатости был ниже на 1,0 % при внесении первого уровня удобрений и на 1,3 % при внесении второго уровня, чем в контрольной группе без удобрений. Данное снижение привело к существенному увеличению выхода ядра. В сравнении с контролем, выход ядра на участках с внесенными удобрениями существенно увеличился. В среднем, при использовании среднего уровня удобрения наблюдалось повышение сбора ядра на 0,89 тонн на гектар, а при применении второго уровня – на 1,18 тонн на гектар (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние уровней минерального питания и нормы высева на выход ядра у сорта Драгун (2022-2024 гг.)

Table 4 – Influence of mineral nutrition levels and seeding rate on kernel yield in the Dragun variety (2022-2024)

Фон минеральных удобрений / Mineral fertilizer background	3,5 млн./га / 3.5 million/ha		4,5 млн./га / 4.5 mln/ha		5,5 млн./га / 5.5 mln/ha		Среднее / Average	
	%	т/га / t/ha	%	т/га / t/ha	%	т/га / t/ha	%	т/га / t/ha
0	71,1	2,07	70,7	2,21	70,8	2,15	70,9	2,14
1	72,1	2,88	71,4	3,08	72,1	3,12	71,9	3,03
2	72,5	3,26	72,1	3,33	72,0	3,36	72,2	3,32
Среднее / Average	71,9	2,74	71,4	2,87	71,6	2,88	71,7	2,83

* Фоны: 0 – без удобрений; 1 – $N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га д.в.; 2 – $N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га д.в.

* Backgrounds: 0 – no fertilizers; 1 – $N_{40}P_{20}K_{40}$ kg/ha a.i.; 2 – $N_{70}P_{35}K_{85}$ kg/ha a.i.

Содержание белка в зерне Драгуна изменялось от 9,6 на нулевом фоне до 10,4 % на втором при посеве с нормой 4,5 млн/га. Существенного влияния изучаемые варианты удобрения на него не оказали. В среднем по всем нормам высева этот показатель, по сравнению с неудобренным фоном, на 1 фоне вырос только на 0,1 % и на 2 фоне – 0,4 %.

На основе полученных экспериментальных данных определены корреляционные связи между урожайностью и качественными показателями зерна (рисунки 1-3). У Драгуна отмечена средняя, прямая степень зависимости (0,547) массы 1000 семян с урожайностью. Связь урожайности с пленчатостью зерна была сильной, обратной (-0,862) и с выходом ядра – сильной, прямой (0,997).

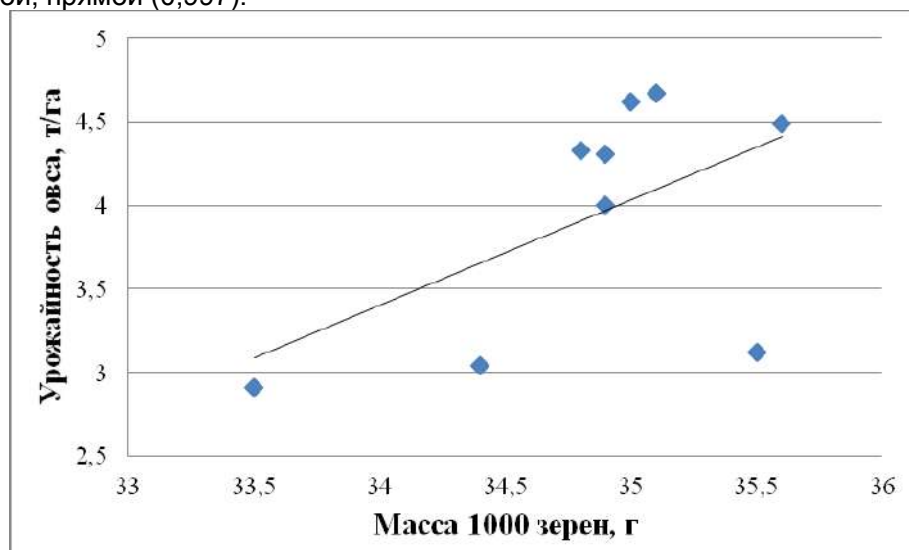


Рисунок 1 – Связь урожайности Драгуна с массой 1000 зерен (2022-2024 гг.)

Figure 1 – Relationship between Dragun yield and weight of 1000 grains (2022-2024)

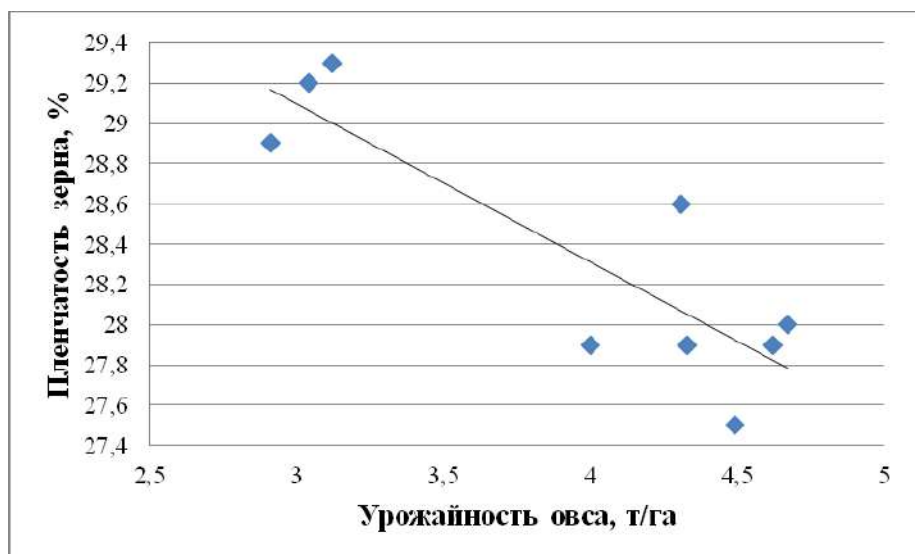


Рисунок 2 – Связь пленчатости с урожайностью зерна Драгуна (2022-2024 гг.)

Figure 2 – Relationship between filminess and Dragun grain yield (2022-2024)

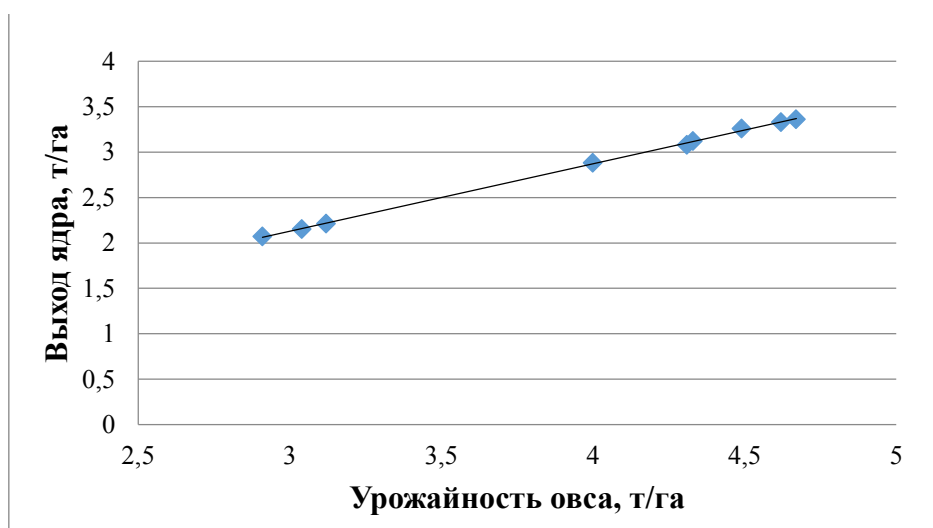


Рисунок 3 – Связь выхода ядра с урожайностью зерна Драгуна (2022-2024 гг.)

Figure 3 – Relationship between kernel yield and Dragun grain yield (2022-2024)

Основные показатели экономической эффективности производства зерновых культур включают в себя стоимость продукции, затраты на производство и прибыль, рассчитанные на 1 гектар посевов, себестоимость единицы продукции и уровень рентабельности.

Для оценки затрат использовались технологические карты, охватывающие все агротехнические мероприятия, предусмотренные для возделывания овса: обработку почвы, внесение удобрений, посев, применение гербицидов в фазу кущения, уборку зерна, его транспортировку и послеуборочную обработку.

Использование минеральных удобрений существенно увеличивало производственные затраты. В сравнении с контролем без удобрений, на первом фоне при посеве с нормой высева 3,5 млн/га они повышались в 1,9 раз, 4,5 млн/га – 2,0 раза, 5,5 млн/га – 2,1 раза. На втором фоне увеличение составило 2,7, 2,8 и 2,9 раза соответственно. При этом наблюдалось значительное повышение себестоимости продукции и снижение рентабельности производства.

Количество затрат на единицу продукции на первом уровне использования удобрений было на 1,3-1,5 тыс. руб. и фоне 2 – 2,8-3,1 тыс. руб. выше, а рентабельность – на 51-63 % и 88-100 % ниже, чем у соответствующих вариантов нормы высева на нулевом фоне.

Применение минеральных удобрений при оптимальных нормах высева значительно повышало стоимость реализованной продукции. Расчётная доза удобрений для достижения урожайности 4,0 т/га обеспечивала её прирост на 9,8-11,6 тыс. руб./га, а для 5,0 т/га – на 13,5-14,6 тыс. руб./га в зависимости от нормы высева.

Для сорта овса «Драгун» максимальный условно-чистый доход (15,7 тыс. руб./га) был зафиксирован на первом фоне при норме высева 4,5 млн шт./га. Важно отметить, что эта норма высева продемонстрировала преимущества на всех уровнях применения удобрений (таблица 5).

Таблица 5 – Экономическая эффективность производства зерна овса ярового Драгун (2022-2024 гг.)
Table 5 – Economic efficiency of spring oat grain production Dragun (2022-2024)

Фон / Background *	Норма высева, млн./га / Seeding rate, mln/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Производственные затраты, тыс. руб./га / Production costs, thousand rubles per hectare	Стоимость продукции, тыс. руб./га / Cost of production, thousand rubles per hectare	УЧД тыс. руб./га / UCHD thousand rubles / ha	Рентабельность, % / Profitability %	Себестоимость, тыс. руб./т / Cost of sales, thousand rubles per ton
0	3,5	2,91	11,5	26,2	14,7	129	3,9
	4,5	3,12	12,6	28,1	15,5	123	4,0
	5,5	3,04	12,7	27,4	14,7	116	4,2
1	3,5	4,00	21,8	36,0	14,2	66	5,4
	4,5	4,31	23,1	38,8	15,7	68	5,4
	5,5	4,33	23,6	39,0	15,4	65	5,5
2	3,5	4,49	31,2	40,4	9,2	29	7,0
	4,5	4,62	32,3	41,6	9,3	29	7,0
	5,5	4,67	32,9	42,0	9,1	28	7,0

* Фоны: 0 – без удобрений; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ кг/га д.в.

* Backgrounds: 0 – no fertilizers; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ kg/ha a.i.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ kg/ha a.i.

Немаловажное значение для оценки эффективности изучаемых агроприемов имеет окупаемость минеральных удобрений дополнительным урожаем зерна. У Драгуна вышеуказанный показатель был значительно выше на фоне удобрений с расчетной дозой N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в. В отличие от дозы на 5,0 т/га, здесь эти показатели возросли на 2,8-4,5 кг/кг д. в. соответственно по нормам высева (таблица 6).

Таблица 6 – Окупаемость минеральных удобрений в зависимости от фона удобрения Драгуна, 2022-2024 гг.

Table 6 – Payback of mineral fertilizers depending on the background of Dragun fertilizer, 2022-2024

Фон удобрений / Fertilizer background	Норма высева, млн./га / Seeding rate, mln/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Прибавка урожая, т/га / Yield increase, t/ha	Окупаемость минеральных удобрений дополнительным урожаем зерна, кг/кг д. в. / Payback of mineral fertilizers by additional grain yield, kg/kg a.i.
1	3,5	4,00	1,09	11,0
	4,5	4,31	1,19	12,0
	5,5	4,33	1,29	13,0
2	3,5	4,49	1,58	8,2
	4,5	4,62	1,50	7,8
	5,5	4,67	1,63	8,5

* Фоны: 0 – без удобрений; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ кг/га д.в.

* Backgrounds: 0 – no fertilizers; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ kg/ha a.i.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₅ kg/ha a.i.

Заключение. При возрастании нормы высева с 3,5 млн./га до 5,5 млн./га полнота всходов овса Драгун уменьшилась с 87 % до 77 %. Запасы продуктивной влаги после всходов в метровом слое составили 139,5 мм и в слое 0-30 см – 37,4 мм. Условия влагообеспеченности для возделывания овса были хорошими в начальные фазы вегетации, в середине – неудовлетворительными в пахотном горизонте и плохими в метровом слое и в конце вегетации – неудовлетворительными и очень плохими соответственно. У Драгуна в начале вегетации содержание нитратного азота в пахотном слое, по сравнению с контролем, повышалось на 1 и 2 фонах в

3,7-4,9 раз и в фазу выметывания метелки – в 1,5-1,9 раза. Содержание подвижного фосфора у изучаемого сорта на всех агрофонах сохранялось на высоком уровне на протяжении всего вегетационного периода. Уровень подвижного калия в растении Драгун был повышен после посева и в середине вегетации, а к моменту уборки снизился до среднего значения.

Драгун на 1 фоне минеральных удобрений ($N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га д.в.) обеспечил прибавку урожайности 1,19 т/га и 2 фоне ($N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га д.в.) – 1,57 т/га. Масса 1000 семян, натура, содержание белка и выход ядра возрастали при использовании удобрений. Изучаемый сорт на всех фонах удобрений обеспечил получение максимального условно-чистого дохода при посеве с нормой высева 4,5 млн./га. На неудобренном фоне этот показатель равнялся 15,5 тыс. руб./га. На 1 уровне использования удобрений прибыль была на 1,3 % больше, а на 2 агрофоне – на 40 % меньше. Окупаемость минеральных удобрений дополнительным урожаем зерна резко снижалась при увеличении дозы до $N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га д.в.

Таким образом, в условиях лесостепи Среднего Поволжья новый сорт овса ярового Драгун сформировал высокую урожайность зерна 4,31 т/га и обеспечил получение наибольшей доходности при посеве с плотностью 4,5 млн. растений на гектар на фоне внесения макроудобрений в расчетной дозе на урожайность 4,0 т/га ($N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га д.в.). Увеличение расчетной дозы до $N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га д.в. (на 5,0 т/га) повышало урожайность сорта до 4,67 т/га при посеве с нормой 5,5 млн./га, но экономические показатели при этом сильно ухудшались и уступали неудобренным вариантам.

Conclusions. With an increase in the seeding rate from 3.5 million/ha to 5.5 million/ha, the abundance of Dragun oat seedlings decreased from 87 % to 77 %. Reserves of productive moisture after germination in the meter layer amounted to 139.5 mm and in the layer of 0-30 cm – 37.4 mm. Moisture availability conditions for oat cultivation were good in the initial phases of the growing season, unsatisfactory in the middle in the arable horizon and shallow in the meter layer, and unsatisfactory and very shallow at the end of the growing season, respectively. In Draguns at the beginning of the growing season, the nitrate nitrogen content in the arable layer increased by 3.7-4.9 times in backgrounds 1 and 2, and by 1.5-1.9 times in the broom sweeping phase. The mobile phosphorus content of the studied variety in all agricultural farms remained at a high level throughout the growing season. The level of mobile potassium in the Dragun plant was increased after sowing and in the middle of the growing season, and by the time of harvesting it had decreased to an average value.

Dragun on 1 background of mineral fertilizers ($N_{40}P_{20}K_{40}$ kg/ha of mineral fertilizers) provided an increase in yield of 1.19 t/ha and 2 background ($N_{70}P_{35}K_{85}$ kg/ha of mineral fertilizers) – 1.57 t/ha. The weight of 1000 seeds, the nature, the protein content and the yield of the kernel increased with the use of fertilizers. The studied variety on all fertilizer backgrounds provided the maximum conditional net income for sowing with a seeding rate of 4.5 million/ha. Against an unfavorable background, this figure was 15.5 thousand rubles/ha. At the 1st level of fertilizer use, the profit was 1.3 % higher, and at the 2nd agrophone it was 40 % less. The payback of mineral fertilizers with an additional grain harvest decreased sharply with an increase in the dose to $N_{72}P_{36}K_{84}$ kg/ha.

Thus, in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region, a new variety of spring Dragun oats generated a high grain yield of 4.31 t/ha and provided the highest yield when sowing with a density of 4.5 million plants per hectare against the background of applying macro fertilizers at an estimated dose for a yield of 4.0 t/ha ($N_{40}P_{20}K_{40}$ kg/ha D.V.). An increase in the calculated doses of up to $N_{70}P_{35}K_{85}$ kg/ha d.v. (5.0 t/ha) increased the yield of the variety to 4.67 t/ha when sown at a rate of 5.5 million/ha, but the economic indicators deteriorated significantly and were inferior to unfavorable varieties.

Библиографический список

1. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция и содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 3. С. 343-352.
2. Маслов В. Н., Березина Н. А., Червонова И. В. Состояние зернового хозяйства России, роль зерновых в кормлении сельскохозяйственных животных и питания. Вестник аграрной науки. 2021. № 2. С. 3-15.
3. Вологжанина Е. Н., Баталова Г. А., Журавлёва Г. П. Кормовая продуктивность плёчатого овса в условиях Волго-Вятского региона. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 36-40.
4. Полонский В. И., Сурин Н. А., Герасимов С. А. и др. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 6. С. 683-690.
5. Яркова Н. Н. Реакция овса Дэнс на приемы агротехники в Среднем Предуралье. Пермский аграрный вестник. 2019. № 2 (26). С. 109-115.
6. Моисеева М. Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна овса в Северном Зауралье. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 35-38.
7. Eremin D. I., Eremina D. V. Simulation the fertility parameters of artificial soils for green zones in the infrastructure of cities in Western Siberia. Journal of Environmental Management and Tourism. 2018. V. 9. No 3 (27). Pp. 599-604.

8. Пронько В. В., Журавлев Д. Ю., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф. Изучение длительного действия минеральных удобрений в стационарном опыте в степном Поволжье. *Агрохимия*. 2023. № 2. С. 15-28.
9. Мерзлая Г. Е., Федулова А. Д., Гаврилова А. Ю. Влияние длительного применения систем удобрения разной интенсивности на урожайность и качество зерна овса. *Агрохимия*. 2022. № 8. С. 3-9.
10. Ralcic V. et al. Impact of lime and NPK fertilizers on yield and quality of oats on pseudogley soil and their valorization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. Cluj-Napoca*, 2020. V. 48. No 4. Pp. 2134-2152.
11. Журавлев Д. Ю., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф. Роль минеральных удобрений в повышении продуктивности овса (*Avena sativa* L.) при изменяющихся климатических условиях степного Поволжья. *Аграрный научный журнал*. 2022. № 10. С. 39-45.
12. Артемьев А. А., Гурьянов А. М., Хвостов Е. Н. Урожайность овса при разных приемах обработки почвы и уровнях минерального питания. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. № 3 (63). С. 6-12.
13. Артемьев А. А., Ибрагимова Г. Н. Продуктивность ярового ячменя при разных нормах посева и дозах удобрений. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024. Т. 25. № 4. С. 571-582.
14. Васин В. Г., Савачаев А. В., Бурунов А. Н. Влияние нормы посева и минеральных удобрений на урожайность различных сортов овса. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 4. С. 24-30.
15. Баташева Б. А., Муслимов М. Г., Ахадова Э. Т. Оптимизация технологии возделывания овса в условиях южного Дагестана. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2022. № 3. С. 26-30.
16. Бутковская Л. К., Мудрова В. Е., Поляков А. О. Биоэнергетическая оценка возделывания сортов ярового ячменя и овса в зависимости от норм посева семян в условиях Красноярской лесостепи. *Зерновое хозяйство России*. 2024. Т. 16. № 3. С. 78-84.
17. Ивенин А. В., Богомолова Ю. А., Саков А. П. Экономическая эффективность выращивания зерновых культур в зависимости от систем обработки почвы и применения удобрений. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 22-27.

References

1. Polonsky V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Breeding and the content of antioxidants in grain as a promising direction for obtaining healthy food products. *Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding*. 2018. V. 22. No 3. Pp. 343-352.
2. Maslov V. N., Berezina N. A., Chervonova I. V. The state of the Russian grain industry, the role of grain in feeding farm animals and nutrition. *Bulletin of Agricultural Science*. 2021. No 2. Pp. 3-15.
3. Vologzhanina E. N., Batalova G. A., Zhuravleva G. P. Feed productivity of filmy oats in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2020. V. 34. No 4. Pp. 36-40.
4. Polonsky B. I., Surin N. A., Gerasimov S. A. et al. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origins in terms of grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019. V. 23. No 6. Pp. 683-690.
5. Yarkova N. N. The reaction of oats Dance to agricultural techniques in the Middle Urals. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019. No 2 (26). Pp. 109-115.
6. Moiseeva M. N. The influence of mineral fertilizers on the yield and quality of grain in the Northern Trans-Urals. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2021. No 4 (90). Pp. 35-38.
7. Eremin D. I., Eremina D. V. Simulation the fertility parameters of artificial soils for green zones in the infrastructure of cities in Western Siberia. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2018. V. 9. No 3 (27). Pp. 599-604.
8. Pronko V. V., Zhuravlev D. Yu., Yaroshenko T. M., Klimova N. F. Study of the long-term effect of mineral fertilizers in stationary experience in the steppe Volga region. *Agrarian Chemistry*. 2023. № 2. Pp. 15-28.
9. Merzlaya G. E., Fedulova A. D., Gavrilova A. Yu. The effect of long-term use fertilizer systems of varying intensity on the yield and quality of oat grain. *Agrarian Chemistry*. 2022. No 8. Pp. 3-9.
10. Ralcic V. et al. Impact of lime and NPK fertilizers on yield and quality of oats on pseudogley soil and their valorization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. Cluj-Napoca*, 2020. V. 48. No 4. Pp. 2134-2152.
11. Zhuravlev D. Yu., Yaroshenko T. M., Klimova N. F. The role of mineral fertilizers in increasing the productivity of oats (*avena sativa* L.) under changing climatic conditions of the steppe Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022. № 10. Pp. 39-45.
12. Artemyev A. A., Guryanov A. M., Khvostov E. N. Productivity of oats at different methods of tillage and levels of mineral nutrition. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023. No 3 (63). Pp. 6-12.
13. Artemyev A. A., Ibragimova G. N. Productivity of spring barley at different seeding rates and fertilizer doses. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2024. V. 25. No 4. Pp. 571-582.
14. Vasin V. G., Savachaev A. V., Burunov A. N. Influence of the seeding rate and mineral fertilizers on the yield of various varieties of oats. *Proceedings of the Samara State Agricultural Academy*. 2021. No 4. Pp. 24-30.
15. Batasheva B. A., Muslimov M. G., Akhadova E. T. Optimization of oat cultivation technology in southern Dagestan. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2022. No 3. Pp. 26-30.
16. Butkovskaya L. K., Mudrova V. E., Polyakov A. O. Bioenergetic assessment of cultivating varieties of spring barley and oats depending on seed sowing rates in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Grain industry of Russia*. 2024. V. 16. No 3. Pp. 78-84.
17. Ivenin A. V., Bogomolova Yu. A., Sakov A. P. Economic efficiency of growing grain crops depending on tillage systems and fertilizer application. *Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2021. V. 16. No 1 (61). Pp. 22-27.

Информация об авторе

Власов Валерий Геннадьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19), e-mail: vlasval11@rambler.ru

Author's Information

Vlasov Valery Gennadievich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk Region, Ulyanovsk District, Timiryazevsky Village, Institutsкая St., 19), e-mail: vlasval11@rambler.ru

**AGRARIAN AND BIOLOGICAL, MORPHOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF THE SPRING BARLEY VARIETY ORENBURGSKY 24****Grechishkina O. S., Novikova A. A., Shaishnikov A. A.***Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: fncbc2022@mail.ru

Received 04.10.2024

Submitted 15.04.2025

**The research work was carried out according to the topic of the state assignment
No. FNWZ – 2022 – 0015.****Summary**

The characteristics of a new variety of spring barley Orenburg 24 obtained from crossing local breeding hybrids at experimental sites of the Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences are presented.

Abstract

Introduction. The variety in agriculture plays a huge role not only in increasing yields, but also in the implementation of scientific and technical achievements. It is a biological system that cannot be replaced by anything else. **The purpose of the research** was to create a new variety of spring barley with high ecological laminosity, drought resistance, resistance to lodging and diseases, having high technological qualities of grain and a consistently high yield. **Object.** The article presents the results of the creation of the Orenburg 24 variety (breeding number Nutans 600/17), which meets all modern production requirements. **Materials and methods.** The work was carried out in the central zone of the Orenburg region in the experimental fields of the Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences by the method of inter sort hybridization and further individual selection from the F4 hybrid population. The creation of a new variety took place in extremely contrasting years in terms of weather conditions, which had a positive impact on the formation of high adaptive abilities. **Results and conclusions.** In terms of grain yield, the Orenburg 24 variety has never been inferior to standard varieties when studying it throughout the breeding scheme. The economically valuable characteristics of the variety are described, and economic efficiency is calculated. On average, over the years of competitive testing (2018-2022), Orenburg 24 exceeded the grain yield of the standard Natalie variety by 2.6 c per 1 ha (+10,3 % to the standard). The grain size is 663 g / l, the weight of 1000 grains is 43.4-54.8 g, the protein content in the grain is 9.6-13.4 %. In 2022, the variety was transferred to the state variety testing in the 9th region.

Keywords: spring barley, *Hordeum vulgare*, spring barley varieties, spring barley selection, drought resistance of spring barley, spring barley yield.

Citation. Grechishkina O. S., Novikova A. A. Shaishnikov A. A. Agrarian and biological, morphological and technological characteristics of the spring barley variety Orenburgsky 24. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 108-116 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-11.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.162:631.5(527.53):631.522/524

**АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ
СОРТА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ОРЕНБУРГСКИЙ 24****Гречишкина О. С., кандидат сельскохозяйственных наук
Новикова А. А., кандидат сельскохозяйственных наук
Шаишников А. А.***ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН»
г. Оренбург, Российская Федерация***Исследовательская работа выполнена согласно теме государственного задания
№ FNWZ – 2022 – 0015.**

Актуальность. Сорт в сельском хозяйстве играет огромную роль не только в повышении урожайности, но и в реализации научных и технических достижений. Он представляет собой биологическую систему, которую невозможно заменить ничем другим. **Целью исследований** являлось создание нового сорта ярового ячменя, обладающего высокой экологической пластичностью, засухоустойчивостью, устойчивостью к полеганию и болезням, имеющего высокие технологические качества зерна и стабильно высокий урожай. **Объект.** В статье представлены результаты создания сорта Оренбургский 24 (селекционный номер Нутанс 600/17), отвечающего всем современным требованиям производства. **Материалы и методы.** Исследование было проведено в центральном регионе

Оренбургского района, в частности на экспериментальных областях Федерального научного центра биологических систем и сельскохозяйственных технологий Российской академии наук методом меж-сортовой гибридизации и дальнейшего индивидуального отбора из гибридной популяции F₄. Создание нового сорта проходило в крайне контрастные годы по метеоусловиям, что оказало положительное влияние на формирование высоких адаптивных способностей. **Результаты и выводы.** По урожайности зерна сорт Оренбургский 24 ни разу не уступил стандартным сортам при изучении его по всей селекционной схеме. Даны экономические и ценностные характеристики сорта. В среднем за годы конкурентного тестирования (2018-2022 гг.) Оренбургский 24 превзошел по урожаю зерна стандарт – сорт Натали на 2,6 ц с 1 га (+10,3 % к стандарту). Натура зерна – 663 г/л., масса 1000 зёрен – 43,4-54,8 гр., содержание белка в зерне – 9,6-13,4 %. В 2023 г. сорт был передан на государственное сортоиспытание по 9-му региону.

Ключевые слова: яровой ячмень, *Hordeum vulgare*, сорта ярового ячменя, селекция ярового ячменя, засухоустойчивость ярового ячменя, урожайность ярового ячменя.

Цитирование. Гречишкина О. С., Новикова А. А., Шайшиников А. А. Агробιοлогические, морфологические и технологические признаки сорта ярового ячменя Оренбургский 24. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 108-116. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-11.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одним из ключевых факторов, влияющих на ускорение научно-технического прогресса в сельском хозяйстве, является селекция растений. В последнее время благодаря внедрению новейших методов создания новых сортов удалось получить эффективные результаты [1, 2, 3, 4].

Использование в сельском хозяйстве новых сортов ячменя, адаптированных к местным климатическим условиям и способных раскрыть весь свой потенциал продуктивности в разных ситуациях выращивания, играет ключевую роль в повышении валового сбора ячменя и обеспечении высокой эффективности его возделывания [5].

Селекция ячменя имеет многогранный подход, учитывает многообразие различных признаков. Однако в селекционном процессе успех создания нового сорта напрямую зависит от ряда ключевых факторов. Так, при повышении интенсивности земледелия и применении больших доз удобрений получение высоких урожаев возможно лишь при условии устойчивости сортов к полеганию. Обычные агротехнические методы борьбы с полеганием часто оказываются недостаточно эффективными, поэтому создание сортов, не подверженных этому явлению, является наиболее радикальным и перспективным решением. Параллельно с этим, предъявляемые к сортам требования по устойчивости к заболеваниям также повышаются, так как болезни зерновых культур всё чаще регистрируются. Поэтому селекционеры постоянно ведут работу над улучшением устойчивости сортов к различным заболеваниям [6].

Как в России, так и за рубежом достигнут высокий уровень селекции ячменя. Существующие сорта способны давать урожай в объеме от 40 до 60 центнеров на гектар и даже больше. Один и тот же сорт в различных условиях возделывания способен давать различные урожаи. На этот показатель оказывает влияние не только его взаимодействие с окружающей средой, но и в определенной степени генотип сорта.

В последнее время селекция ярового ячменя сосредоточена на разработке новых сортов, обладающих комплексом ценных свойств: устойчивостью к засухе, быстрым созреванием, высокой урожайностью, а также отличными технологическими и биохимическими характеристиками зерна [7, 8].

Сорт в сельском хозяйстве играет огромную роль не только в повышении урожайности, но и в реализации научных и технических достижений. Он представляет собой биологическую систему, которую невозможно заменить ничем другим. Урожайность зерновых возрастает на 2-10 центнеров с гектара и выше благодаря внедрению улучшенного высокопродуктивного сорта. Оценки показывают, что замена низкопродуктивных видов зерновых на высокопродуктивные позволит увеличить ежегодный сбор урожая минимум на 10–12 миллионов тонн по всей стране.

К разным типам ячменя, исходя из конкретных задач применения, выдвигаются взаимоисключающие условия. Так, например, зерно ячменя для кормления животных требует высокого уровня протеина, тогда как для пивоварения предпочтительнее минимальное его присутствие. Работа селекционеров позволила устранить конфликт благодаря созданию специализированных видов ячменя для кормления животных и производства пива.

Роль концентрированной кормовой базы возрастает в процессе перехода животноводства к промышленному производству. Производителям зерна нужны новые, продуктивные сорта ячменя хорошего качества и с высокой урожайностью. С позиции питательной эффективности ячмень превосходит пшеницу. Он дополнительно предоставляет увеличенные запасы пищи для животных, у него ускоренный процесс созревания, а также яровой ячмень стойко выдерживает высокие температуры и засухи.

Одним из основных путей увеличения урожайности ярового ячменя, улучшения его качества и устойчивости к различным биотическим и абиотическим факторам для засушливых климатических условий Оренбургского Предуралья является создание новых сортов, обладающих экологической устойчивостью к болезням, засухоустойчивостью и высокой продуктивностью [9, 10]. Для производства подобных образцов исходными материалами являются, с одной стороны, наиболее качественные местные сорта, а с другой – экзemplары из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова. Районированные и перспективные сорта обладают достаточно высоким потенциалом продуктивности.

Оренбургская область отличается разнообразием природных условий, особенно в контексте сельского хозяйства. Здесь наблюдаются значительные колебания климатических факторов: от засушливых степей до более влажных районов. Это делает создание универсальных сортов сельскохозяйственных культур крайне сложной задачей [11]. Одним из эффективных методов решения этой проблемы является гибридизация. В случае ярового ячменя, гибридизация позволяет комбинировать гены разных родительских линий, чтобы получить новые рекомбинантные генотипы, обладающие улучшенными свойствами [12].

Материалы и методы. Объектом исследований являлся селекционный номер 600/17 (комбинация 48/08) в дальнейшем это сорт ярового ячменя Оренбургский 24.

Характеристика почв. Полевые исследования проводились в течение трех лет (2020-2022 годы) в поселке Чебеньки Оренбургской области. Участок был подготовлен под чистый пар, что подразумевает отсутствие сельскохозяйственных культур перед началом эксперимента. Это позволяет почве отдохнуть и накопить влагу и питательные вещества. Почвы опытного участка представлены чернозёмом обыкновенным, относятся к среднему и маломощному типу, что означает меньшую толщину плодородного слоя. Гумусное содержание составляет 4,69-7,60 %, что считается средним уровнем (ГОСТ 26213-91). Обеспеченность почвы макроэлементами, следующая: азот – низкий уровень (34,8 мг/кг) (ГОСТ Р 58596-2019), фосфор – средний уровень (97,2 мг/кг) (ГОСТ 26205), калий – повышенный уровень (120 мг/кг) (ГОСТ 26205).

Учётная площадь каждой делянки 16,4 м². Повторность опытов трёхкратная, что обеспечивает высокую достоверность результатов.

Селекционный процесс осуществлялся по отработанной схеме согласно утверждённой методике в ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (п. Чебеньки) (рисунок 1).

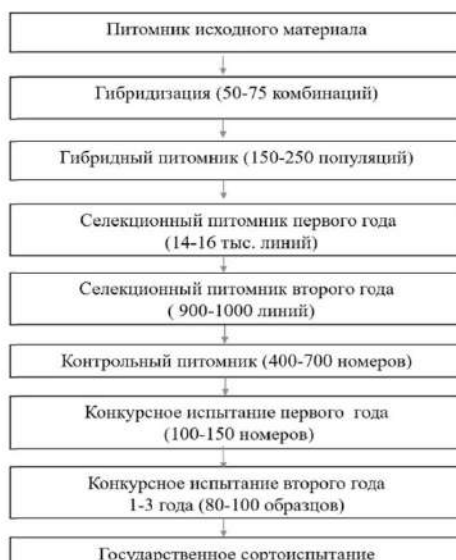


Рисунок 1 – Схема селекционного процесса ярового ячменя в ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (п. Чебеньки)

Figure 1 – Scheme of the breeding process of spring barley

В годы, когда проводились исследования по созданию сорта Оренбургский 24 (2009-2022), климатические условия в периодах роста растений сильно отличались по показателям температуры и количеству выпавших осадков (таблица 1).

Таблица 1 – Главные параметры тепло- и влажноснабжения в фазы роста ярового ячменя центральной части Оренбуржья (среднее за 2009-2022 гг.)

Table 1 – The main parameters of heat and moisture supply in the growth phases of spring barley in the central part of Orenburg region (average for 2009-2022)

Показатели метеостанции в п. Чебеньки / Indicators of the weather station in the village of Chebenki	Месяц вегетационного периода (всходы-созревание) / Month of the growing season (germination-ripening)			
	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August
Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	15,4	20,9	23,5	14,8
Количество осадков, мм / Precipitation, mm	49,6	18,3	33,0	15,2

Судя по приведенным данным, климат данной местности в период наблюдений характеризовался жарким летом с высокими температурами, достигающими + 42 °C (в июле). Заморозки фиксировались уже в начале осени, начиная с конца августа – начала сентября. Сумма средних суточных температур, превышающих +10 °C составляет 2571 °C, что свидетельствует о значительном теплом периоде года, подходящем для активного роста растений. Однако количество осадков в течение вегетационного периода невелико – всего около 116,1 мм, что указывает на засушливые условия. Особенно это заметно в сочетании с большим количеством дней, в нашем опыте более 40, с низкой влажностью воздуха (менее 30 %) и частыми суховеями. Данная местность имеет континентальный климат с жарким сухим летом и достаточно короткими переходными сезонами, что создает определенные трудности для сельского хозяйства и требует специальных агротехнических мер, направленных на сохранение влаги [13].

Анализируя полученные данные, можно сделать несколько выводов относительно влияния климатических условий на рост и развитие ярового ячменя. Наблюдалась высокая сумма активных температур в среднем за годы опыта, она превысила климатическую норму на 33,2 °C и составила 2428,5 °C. Это могло способствовать ускоренному развитию растений, однако в условиях засухи этот фактор становится негативным, поскольку растения требуют большего количества воды для поддержания роста. Значение гидротермического коэффициента (ГТК) находится в пределах от 0,3 до 1,15 единиц, что является показателем дефицита влаги. ГТК меньше единицы указывает на недостаток осадков относительно испаряемости, что подтверждает условия засухи. В 2010 и 2021 годах наблюдались сильные засухи, что оказало негативное влияние на урожайность ярового ячменя. Жаркая погода, наблюдаемая с начала мая и до конца августа (температура выше +30 °C). К моменту колошения верхний метровый слой почвы был практически сухим, что ограничивало доступ корней к влаге. Растения могли использовать влагу лишь из нижних слоев почвы (до 110 см), где оставались незначительные запасы.

Таким образом, условия, сложившиеся в центральной зоне Оренбургской области в период с 2009 по 2022 годы, создали оптимальные предпосылки для объективной оценки разрабатываемого сорта ярового ячменя.

Процесс оценивания нового сорта проводили по методике ВИР, по различным параметрам, включая морфологические характеристики растений, урожайность и устойчивость к заболеваниям. Дисперсионный анализ – с использованием для данных исследований методик Госсортоиспытания с.-х. культур [14] и методикой полевого опыта Б. А. Доспехова (2012). Распространенность заболевания была определена в процентах. Статистический анализ проводился с помощью программного обеспечения Microsoft Excel («Microsoft», США), а устойчивость к патогенам оценивалась по шкале ВИЗР (Радченко Е. Е. и др., 2008).

Результаты и обсуждение. С 2008 по 2022 года в Оренбургском НИИСХ (ныне ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН) велась работа по созданию сорта ярового ячменя Оренбургский 24 (селекционный номер Нутанс 600/17). Селекционный процесс выглядел следующим образом:

1. Скрещивание: В 2008 году были скрещены два сорта, Анна (местного происхождения) и Терно (чешского происхождения), что привело к созданию гибридной популяции F1.

2. Последующие поколения: Гибридная популяция прошла несколько поколений (до F4), чтобы стабилизировать генетические характеристики потомства.

3. Индивидуальный отбор: из поколения F4 проводился индивидуальный отбор лучших особей, который позволил выделить наиболее перспективные растения с желаемыми признаками.

Таким образом, новый сорт был получен благодаря комбинации наследственных признаков обоих родительских сортов через процесс гибридизации и последующего отбора. Авторы сорта: Тишков Н. И., Зоров А. А., Тишков Д. Н., Мухитов Л. А., Гречишкина О. С., Камалеев Р. Д., Тимошенкова Т. А. Этот сорт входит в степную агроэкологическую группу, разновидность – нутанс (рисунок 2).



Рисунок 2 – Сорт ярового ячменя Оренбургский 24 (селекционный номер Нутанс 600/17)

Figure 2 – Variety of spring barley Orenburgsky 24 (breeding number Nutans 600/17)

По типу созревания новый сорт ярового ячменя – раннеспелый. Vegetационный период по годам наблюдения в разных питомниках у него составил 70-72 дня (таблица 2).

Таблица 2 – Хозяйственно-биологическая характеристика испытываемого сорта и стандартов ярового ячменя (результат конкурсного испытания 2-го года, 2020-2022 гг.)

Table 2 – Economic and biological characteristics of the tested variety and standards of spring barley (the result of a competitive test of the 2nd year, 2020-2022)

Признаки / Signs	Название сорта / Variety name		
	Оренбургский 24 / Orenburgsky 24	Натали (st) / Natalie (st)	Губернаторский (st) / Gubernatorial (st)
Длина вегетационного периода, дней / Vegetation period, days	71	70	72
Выживаемость растений, % / Plant survival, %	88	85	86
Продуктивная кустистость, ед. / Productive bushiness, units	1,7	1,6	1,6
Высота растений, см. / Plant height, cm	55	60	61
Длина главного колоса, см. / Length of the main ear, cm	7,9	8,0	8,2
Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.	17	16	17
Масса зерен с колоса, гр. / Weight of grains per ear, gr.	0,87	0,84	0,77
Масса зерен с растения, гр. / Weight of grains per plant, gr.	1,71	1,54	1,73
Масса 1000 зерен, гр. / Weight 1000 grains, g.	48,5	43,7	45,3
Зерновая натура, г/л / Grain weight, g/l	663	656	660
Уровень белка в зерне, % / Protein level in grain, %	11,7	12,0	11,6
Степень устойчивости к засухе, балл / Degree of drought resistance, points	5	4,7	5

В зависимости от сложившихся условий вегетационного периода формирует растения высотой 50-60 см с длиной колоса 7,7-8,1 см (рисунок 3). По этим показателям немного уступал сортам принятым в наших условиях как стандарт, Натали и Губернаторский.



Рисунок 3 – Растение и колос ярового ячменя Оренбургский 24 (селекционный номер Нутанс 600/17)
Figure 3 – Plant and ear of spring barley Orenburgsky 24 (breeding number Nutans 600/17)

Ости у нового сорта зазубрены по всей длине, длинные, слабо расходящиеся. Зерновка крупная, эллиптической формы, желтого цвета. Масса 1000 зерен в зависимости от сложившихся погодных условий в период формирования и роста зерновки составляла от 47,3 до 49,7 гр., что превысило стандарты, Натали и Губернаторский, на 11 и 7,1 %, соответственно. Число зерен в колосе в среднем было на уровне стандартов и составляло 16-17 шт.

Куст у сорта Оренбургский 24 прямостоячий с прочным стеблем. Степень поникания колоса, устойчивость к прорастанию на корню, к полеганию, к осыпанию – по 5 баллов. Засухоустойчивость у всех исследуемых сортов по 5 баллов.

По хозяйственным показателям, таким как качество зерна и доля белка в нём, наблюдались разные показания в зависимости от сложившихся условий года. Натура зерна в конкурсном сортоиспытании во все года наблюдений превышала стандартные сорта на 0,5-2 %. Содержание белка в зерне было на уровне стандартных сортов и составляло у нового сорта от 11 до 13 %.

Сорт Оренбургский 24 слабо поражается пыльной и твёрдой головнёй ячменя. Устойчив к разным видам ржавчины.

В большом конкурсном испытании в среднем за пять лет по урожайности сорт ярового ячменя Оренбургский 24 превысил стандартный сорт Натали на 2,6 ц с 1 га (+10,3 % к стандарту) (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность испытываемого сорта и стандартов ярового ячменя
(результат конкурсного испытания 2-го года, 2018-2022гг.)

Table 3 – The yield of the tested variety and standards of spring barley
(the result of a competitive test of the 2nd year, 2017-2022)

Название сорта / Variety name	Урожай зерна, ц/га / Grain yield, c/ha					средний
	2018	2019	2020	2021	2022	
Оренбургский 24 / Orenburgsky 24	29,0	21,7	19,2	4,3	42,8	23,4
Натали / Natalie	26,2	18,3	16,8	2,3	40,2	20,8
Отклонение от стан- дарта, ц/га / Deviation from the standard, c/ha	+2,8	+3,4	+2,4	+2,0	+2,6	+2,6
НСР ₀₅	1,4	2,0	1,8	1,4	2,5	-

В остро засушливый 2021 год новый сорт Оренбургский 24 проявил себя как засухоустойчивый сорт и был продуктивнее по урожайности стандарта на 87 %.

Урожайность в производственном испытании сорта Оренбургский 24 в 2022 г. составила 38,3 ц с 1 га (+3,5 ц с 1 га к стандарту) (таблица 4).

Таблица 4 – Оценка экономической эффективности нового сорта ячменя Оренбургский 24 на производственном испытании (2022г.)

Table 4 – Evaluation of the economic efficiency of a new variety of barley Orenburgsky 24 on a production test (2022)

Сорта / Varieties	Урожайность, ц/га / Yield, c/ha	Закупочная цена, руб. за 1 центнер / Purchase price, rubles per 1 centner	Затраты на 1 га, руб. / Costs per 1 hectare, rubles	Себестоимость 1 тонны зерна, руб. / Cost of 1 ton of grain, rubles	Прибыль на 1 га, руб. / Profit per 1 ha, rubles	Уровень рентабельности, % / Profitability level, %
Натали (st) / Natalie (st)	34,8	750	12550,6	3606,5	13549,3	108,0
Оренбургский 24 / Orenburgsky 24	38,3	750	12445,2	3249,4	16279,7	130,8
Разница со st / The difference with st	+ 3,5	0	-105,4	- 357,1	+ 2730,4	+ 22,8

Оценка экономической эффективности нового сорта ярового ячменя на производственном испытании в 2022 году показала, что прибыль от выращивания сорта Оренбургский 24 составила 16279,7 рублей с одного гектара земли. Это важный показатель, который отражает непосредственный доход, полученный после вычитания всех затрат. В данном случае уровень рентабельности составил 130,8 %.

Выводы. Яровой ячмень сорта Оренбургский 24 (селекционный номер Нутанс 600/17) создан в Федеральном научном центре биологических систем и агротехнологий РАН методом индивидуального отбора из поколения F₄, полученной от скрещивания районированного сорта местного происхождения – Анна с сортом, полученным в Чехии – Terno (Анна × Terno). Разновидность – нутанс. Сорт ярового ячменя Оренбургский 24 обладает рядом положительных характеристик, что делает его перспективным для выращивания в условиях засушливого климата. Основные преимущества данного сорта: ранний срок созревания (вегетационный период составляет всего 70-72 дня), что позволяет быстро получить урожай; растения средней длины (50-60 см), что делает его устойчивым к полеганию (5 баллов). Устойчив к неблагоприятным условиям: высокая оценка устойчивости к прорастанию на корню (5 баллов) и осыпанию (5 баллов); высокий уровень засухоустойчивости (5 баллов), особенно важен для регионов с недостаточным количеством осадков; низкая подверженность болезням, слабо поражается пыльной и твердой головней ячменя. В конкурсном испытании сорт показал высокую урожайность: превышение стандарта, сорта Натали, на 2,6 ц/га (или +10,3 %) в среднем за пять лет испытаний. Урожайность в производственном испытании в 2022 г. составила 38,3 ц с 1 га (+3,5 ц с 1 га к стандарту). Натура зерна – 663 г/л., масса 1000 зёрен – 43,4-54,8 гр., содержание белка в зерне – 9,6-13,4 %. Экономическая эффективность: прибыль от возделывания составила 16279,7 рублей с гектара, а уровень рентабельности достиг 130,8 %.

В 2023 году новый сорт Оренбургский 24 передан на Госсортоиспытание по Уральскому региону. В будущем наша коллекция сортов может быть дополнена новым засухоустойчивым сортом.

Conclusions. Spring barley of the Orenburg 24 variety (breeding number Nutans 600/17) was created at the Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences by individual selection from the F₄ generation obtained from crossing a zoned variety of local origin – Anna with a variety obtained in the Czech Republic – Terno (Anna × Terno). The variety is nutance. The Orenburg 24 spring barley variety has a number of positive characteristics, which makes it promising for cultivation in arid climates. The main advantages of this variety are: early ripening (the growing season is only 70-72 days), which allows you to quickly harvest; plants of medium length (50-60 cm), which makes it resistant to lodging (5 points). Resistant to adverse conditions: high assessment of resistance to root germination (5 points) and shedding (5 points); high level of drought tolerance (5 points), especially important for regions with insufficient precipitation; low susceptibility to diseases, weakly affected by dusty and hard smut of barley. In the competitive trial, the variety showed high yields: exceeding the standard, the Natalie variety, by 2.6 kg/ha (or +10.3 %) on average over five years of testing. The yield in the production test in 2022 was 38.3 c per 1 ha (+3.5 c per 1 ha to the standard). Grain size – 663 g/ liter, weight of 1000 grains – 43.4-54.8 g, protein content in grain – 9.6-13.4 %. Economic efficiency: the profit from cultivation amounted to 16279.7 rubles per hectare, and the profitability level reached 130.8 %.

In 2023, the new Orenburg 24 variety was transferred to the State Variety Testing in the Ural region. In the future, our collection of varieties may be supplemented with a new drought-resistant variety.

Библиографический список

1. Левакова О. В. и др. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ. Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 1. С. 128-135.
2. Кузнецова Т. Е., Левштанов С. А., Серкин Н. В., Несеренко В. В., Веретельникова Н. А., Останина Т. В. Методы и результаты селекции ярового ячменя на Кубани. Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 12. С. 20-22.
3. Казак А. А. и др. Сорта-двуручки как исходный материал для селекции яровой пшеницы в Тюменской области. Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 12 (138).
4. Eroshenko L. M. et al. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 843. 012005.
5. Брагин Р. Н., Филиппов Е. Г. Оценка показателей адаптивности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях изменчивости природной среды. Зерновое хозяйство России. 2022. № 3. С. 18-24.
6. Асхадуллин Д. Ф., Василова Н. З., Хусаинова И. И., Тазутдинова М. Р. Сорт в системе защиты яровой пшеницы от листостебельных болезней. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. № 3. С. 10-14.
7. Левакова О. В. Селекционная работа по созданию адаптированных к нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области. Зерновое хозяйство России. 2021. № 1 (1). С. 14-19.
8. Саввина В. В. Изучение исходного материала ярового ячменя коллекции ВИР в Центральной Якутии. Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). С. 22.
9. Максимов Р. А. Метод определения параметров адаптивной способности с использованием множественного регрессионного анализа взаимосвязи урожайности и ее элементов структуры. Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 6. С. 4-10.
10. Зоров А. А. и др. Селекция ярового ячменя в Оренбуржье. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 65-73.
11. Тишков Н. И., Тишков Д. Н. Селекция ярового ячменя в Оренбуржье. Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства в условиях часто повторяющихся засух: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург: ООО "Агентство "Пресса", 2017. С. 57-65.
12. Пискарев В. В., Зуев Е. В., Брыкова А. Н. Исходный материал для селекции яровой пшеницы в условиях Новосибирской области. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22. С. 784-794.
13. Камалеев Р. Д., Гречишкина О. С. Зависимость урожайности ярового ячменя от метеорологических условий в центральной зоне Оренбургской области. Известия НВ АУК. 2023. № 2 (70). С. 160-167.
14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. В. И. Головачева, Е. В. Кириловской. М., 2019. 194 с.

References

1. Levakova O. V., et al. Influence of Agrometeorological Climate Change on Grain Productivity of Spring Barley in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation. The South of Russia: Ecology, Development. 2022. V. 17. № 1. С. 128-135.
2. Kuznetsova T. E., Levshtanov S. A., Serkin N. V., Neserenko V. V., Veretelnikova N. A., Ostanina T. V. Methods and Results of Spring Barley Breeding in the Kuban. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. V. 29. № 12. Pp. 20-22.
3. Two-Handed Varieties as Source Material for Spring Wheat Breeding in the Tyumen Region. International Research Journal. 2023. № 12 (138).
4. Eroshenko L. M. et al. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 843. 012005.
5. Bragin R. N., Filippov E. G. Estimation of Yield Adaptability Indices of Spring Barley Varieties under Conditions of Variability of the Natural Environment. Grain farming in Russia. 2022. № 3. Pp. 18-24.
6. Askhadullin D. F., Vasilova N. Z., Khusainova I. I., Tazutdinova M. R. Variety in the system of protection of spring wheat from leaf-stem diseases. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2019. № 3. Pp. 10-14.
7. Levakova O. V. Breeding work on the creation of spring barley varieties adapted to the non-chernozem zone of the Russian Federation and prospects for the development of this crop in the Ryazan region. Grain farming in Russia. 2021. № 1 (1). Pp. 14-19.
8. Savvina V. V. Study of the Source Material of Spring Barley of the VIR Collection in Central Yakutia. International Research Journal. 2022. № 12 (126). P. 22.
9. Maksimov R. A. Method for Determining the Parameters of Adaptive Ability Using Multiple Regression Analysis of the Relationship between Yield and Its Structural Elements. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2021. V. 35. № 6. Pp. 4-10.
10. Zorov A. A. et al. Selection of spring barley in the Orenburg region. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2021. № 6 (92). Pp. 65-73.
11. Tishkov N. I., Tishkov D. N. Selection of spring barley in the Orenburg region. Scientific Support of Innovative Development of Agriculture in the Context of Frequently Recurring Droughts: Materials of the International Scientific and Practical Conference. Orenburg: ООО "Agency "Pressa", 2017. Pp. 57-65.
12. Piskarev V. V., Zuev E. V., Brykova A. N. Source Material for Spring Wheat Breeding in the Novosibirsk Region. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. № 22. Pp. 784-794.
13. Kamaleev R. D., Grechishkina O. S. Dependence of spring barley yield on meteorological conditions in the central zone of the Orenburg region. Izvestiya NV AUK. 2023. № 2 (70). Pp. 160-167.
14. Methods of State Variety Testing of Agricultural Crops. Ed. V. I. Golovachev, E. V. Kirilovskaya. Moscow, 2019. 194 p.

Информация об авторах

Гречишкина Ольга Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: fncbc2022@mail.ru

Новикова Антонина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: tony-novikova@yandex.ru

Шаишников Антон Андреевич, специалист по селекции и генетике в растениеводстве, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: shaishnikov12@yandex.ru

Authors' Information

Grechishkina Olga Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, January 9 St., 29), e-mail: fncbc2022@mail.ru

Novikova Antonina Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 460000, Orenburg, January 9 St., 29), e-mail: tony-novikova@yandex.ru

Shaishnikov Anton Andreevich, specialist in plant breeding and genetics, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, January 9 St., 29), e-mail: shaishnikov12@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-12

**THE REPRESENTATIVES OF THE GROUND BEETLE'S FAMILY
(COLEOPTERA, CARABIDAE) AS A COMPONENT OF THE HERPETOBIONT'S
POPULATION OF WHEAT AND COTTON FIELDS**

Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: calosoma.00@mail.ru

Received 21.03.2025

Submitted 14.04.2025

Summary

The article presents the results of studies of the ground beetle population on winter wheat and cotton crops. The phenological features of development and technology of cotton production do not allow ground beetles to fully realize their life cycle, but its fields serve as temporary habitats for species with spring-summer, summer-autumn and multi-seasonal periods of activity. Relatively stable conditions on winter wheat crops in the spring and autumn-winter periods allow a number of species to realize their life cycle, or to use them at this time as a survival habitat.

Abstract

Introduction. Very diverse conditions develop on cultivated lands, depending on the culture, the specifics of its cultivation technology, the structure of crop rotation and the natural habitats surrounding the agroecosystem. In turn, the complexes of beetles of agroecosystems, represented mainly by regional species, have a number of specific features in terms of species composition, abundance and ecological structure and differ greatly from each other in the mosaic of the agricultural landscape [1]. Knowing the patterns of formation of these complexes, it is possible to judge the ecological situation on the territory of the agro-landscape by their features, and predict its changes depending on certain technological methods in agricultural culture.

Materials and methods. The work uses data obtained in 2021-23 on the species and numerical abundance of herpetobionts collected on winter wheat and cotton crops using Barber soil traps at the Gornaya Polyana Scientific Research Center of the Volgograd State Agrarian University. **Results and conclusions.** During the study period, 3 species dominated cotton crops: *Calosoma auropunctatum* ssp. *dzungaricum* Gebler (26.0 %) and *Broscus semistriatus* Dejean (47.0 %) and *Poecilus sericeus* Fischer von Waldheim (7 %). The Berger-Parker index was 0.47, which indicates a relatively low biodiversity of representatives of this family in cotton crops. The species composition of ground beetles of winter wheat crops is richer than that of cotton. The Berger-Parker index was 0.23. The core of the carabidocomplex is represented by five dominant species: *Harpalus distinguendus* Duftschmidt (22.1 %), *Calathus ambiguus* Paykull (19.1 %), *Poecilus puncticollis* Schaller (14.4 %), *Harpalus rufipes* De Geer (5.8 %), *Poecilus cupreus* Linnaeus (5.0 %) and four subdominants: *Brachinus costatus* Quensel in Schonherr (3.8 %), *Broscus semistriatus* Dejean (2.5 %), *P. sericeus* Jeanne (2.7 %), *Cymindus lineatus* Quensel in Schonherr (2.0). In irrigation conditions, the leading role belongs to species from the steppe, meadow-field, steppe-field and desert-steppe groups. They account for 87.3 to 96 % of the numerical abundance. High migration abilities determine the ability of ground beetles to use crops of cultivated plants, when the most favorable conditions for microclimatic indicators of the soil layer are formed in the fields, a sufficient number of potential victims accumulate. At the beginning of the growing season and after harvesting, there are no such optimal conditions for ground beetles, so they are redistributed to other fields and habitats in the structure of the agricultural landscape.

Keywords: ground beetles, terrestrial coleoptera, regulators of the number of invertebrates, ground insects.

Citation. Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S. The representatives of the ground beetle's family (Coleoptera, Carabidae) as a component of the herpetobiont's population of wheat and cotton fields. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 116-125 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-12.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 632.7

ПРЕДСТАВИТЕЛИ СЕМЕЙСТВА ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE) КАК КОМПОНЕНТ НАСЕЛЕНИЯ ГЕРПЕТОБИОНТОВ ПШЕНИЧНОГО И ХЛОПКОВОГО ПОЛЕЙ

Карпова Т. Л., кандидат биологических наук, доцент

Роменская О. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Семенова Е. С., кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. На обрабатываемых землях складываются очень разнообразные условия в зависимости от культуры, особенностей ее технологии возделывания, структуры севооборота и окружающих агроценозов естественных местообитаний. В свою очередь, комплексы жуужелиц агроценозов, представленные в основном региональными видами, по видовому составу, численному обилию и экологической структуре имеют ряд специфических особенностей и сильно отличаются друг от друга в мозаике агроландшафта [1]. Зная закономерности формирования этих комплексов, по их особенностям можно судить об экологической обстановке на территории агроландшафта, прогнозировать ее изменения в зависимости от тех или иных технологических приемов в культуре земледелия. **Материалы и методы.** В работе использованы полученные в 2021-23 годах данные по видовому и численному обилию герпетобиионтов, собранных на посевах озимой пшеницы и хлопчатника с помощью почвенных ловушек Барбера в УНПЦ «Горная поляна» Волгоградского ГАУ. **Результаты и выводы.** В период исследований на посевах хлопчатника доминировали 3 вида: *Calosoma auropunctatum* ssp. *dzungaricum* Gebler (26,0 %) и *Broscus semistriatus* Dejean (47,0 %) и *Poecilus sericeus* Fischer von Waldheim (7 %). Индекс Бергера-Паркера составил 0,47, что говорит об относительно низком биоразнообразии представителей этого семейства на посевах хлопчатника.

Видовой состав жуужелиц посевов озимой пшеницы более богат по сравнению с хлопчатником. Индекс Бергера-Паркера составил 0,23. Ядро карабидокомплекса представлено пятью доминантными видами: *Harpalus distinguendus* Duftschmidt (22,1 %), *Calathus ambiguus* Paykull (19,1 %), *Poecilus puncticolis* Schaller (14,4 %), *Harpalus rufipes* De Geer (5,8 %), *Poecilus cupreus* Linnaeus (5,0 %) и четыре субдоминантами: *Brachinus costatulus* Quensel in Schonherr (3,8 %), *Broscus semistriatus* Dejean (2,5 %), *P. sericeus* Jeanne (2,7 %), *Cymindus lineata* Quensel in Schonherr (2,0 %).

В условиях орошения ведущая роль принадлежит видам из степной, лугово-полевой, степно-полевой и пустынно-степной групп. Они составляют от 87,3 до 96 % численного обилия.

Высокие миграционные способности обуславливают способность жуужелиц использовать посевы культурных растений, когда на полях складываются наиболее благоприятные условия по микроклиматическим показателям напочвенного яруса, накапливается достаточное количество потенциальных жертв. В начале вегетации и после уборки урожая таких оптимальных условий для жуужелиц нет, поэтому происходит их перераспределение по другим полям и местообитаниям в структуре агроландшафта.

Ключевые слова: жуужелицы, наземные жесткокрылые, регуляторы численности беспозвоночных, напочвенные насекомые.

Цитирование. Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С. Представители сем. жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) как компонент населения герпетобиионтов пшеничного и хлопкового полей. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 116-125. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-12.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Изучению жуужелиц агроценозов посвящено много работ как за рубежом, так и в России. Библиографический список работ, посвященный этой группе наземных жесткокрылых, включает тысячи работ различного уровня [2]. Неослабевающий интерес исследователей к жуужелицам связан с их высокой численностью, видовым и экологическим разнообразием, полифагией, определяющей их роль как регуляторов численности беспозвоночных на полях [3].

Изучение жуужелиц на территории Волгоградской области ведется непрерывно в течение последних 40 лет. Накоплен значительный материал по видовому разнообразию, экологической структуре населения, сезонной и многолетней динамике численности жуужелиц агроландшафта с орошением [2].

Тем не менее, введение в сельскохозяйственное производство новых культур, существенная корректировка приемов возделывания, особенно таких как способы и нормы полива, требует новых подходов к изучению формирования комплексов этой важной составляющей почвенной мезофауны. В структуру севооборота в УНПЦ «Горная поляна» Волгоградского ГАУ более 10 лет назад введен хлопчатник, созданы новые его сорта, адаптированные к условиям региона [4, 5]. Закономерности формирования энтомокомплекса хлопчатника в условиях региона Нижнего Поволжья изучены слабо, поэтому это направление исследований представляется актуальным. Учитывая массовое распространение жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) их удобно использовать в качестве биологических индикаторов состояния агроландшафтов, отдельных посевов и агроценозов полевых и садовых культур.

Цель работы – изучить биоразнообразие и структуру комплекса напочвенных насекомых семейств жуужелицы (Carabidae) на посевах озимой пшеницы и хлопчатника в условиях орошения.

Материалы и методы. В работе использованы полученные в 2021-23 годах данные по видовому и численному обилию герпетобионтов, собранных на посевах озимой пшеницы и хлопчатника с помощью почвенных ловушек Барбера, в качестве которых использовались пластиковые стаканы объемом 0,5 л и фиксирующая жидкость – 4 % раствор формалина. Ловушки экспонировались с момента посева культуры до уборки (на хлопчатнике в течение вегетационного сезона, на озимой пшенице в течение календарного года, включая зимний период). Определение имаго жуужелиц проводили с использованием бинокулярного микроскопа МБС-10, достоверность определения проверена к.б.н., с.н.с. отдела орошаемого земледелия и агроэкологии ВНИИОЗ – филиала ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГМ им. А. Н. Костякова» Е. В. Комаровым, за что автор выражает ему благодарность.

К доминантным видам относили те, чья численность составила более составляла более 5 %, субдоминантами – от 2 до 5 %, постоянно встречающиеся (1-2 %), редкие виды и единичные находки (менее 1 %).

Для оценки структуры доминирования населения жуужелиц на посевах озимой пшеницы использовали индекс Бергера-Паркера (d) [6]:

$$d = N / N_{\max},$$

где $N_{\max}$ – число особей самого обильного вида в биотопе; N – общее число особей всех видов в биотопе.

Озимая пшеница и хлопчатник возделывались по традиционной технологии, полив осуществлялся дождевальнй машиной дождевального шланго-барабанного типа фирмы «Beinlich» (Германия). Оросительная сеть закрытого типа.

Результаты и обсуждение. За период исследований на посевах хлопчатника и озимой пшеницы отмечено 50 видов жуужелиц, что составляет 16,1 % видового обилия Волгоградской области. Комплекс жуужелиц озимой пшеницы представлен 42 видами, относящихся к 21 роду (таблица 1). Видовое обилие жуужелиц хлопчатника оказалось существенно беднее, здесь зарегистрировано 23 вида из 11 родов. Индекс Бергера-Паркера более чем в 2 раза здесь выше, чем на озимой пшенице.

Хлопчатник относится к теплолюбивым культурам, поэтому в регионе его посев осуществляется в зависимости от погодных условий во II-III декаде мая, когда активность весенней группы жуужелиц снижается. Кроме того, эта культура характеризуется относительно растянутым сроком появления всходов (до 20 дней). До середины июля на посевах хлопчатника проводится несколько междурядных культиваций, другие агротехнологические работы, привлекающие условия для жуужелиц складываются здесь только во второй половине лета. Поэтому в структуре населения жуужелиц хлопчатника ведущая роль принадлежит видам с весенне-летним, летне-осенним периодом размножения и мультисезонным типом активности. К абсолютным доминантам здесь можно отнести всего 2 вида: *Calosoma auropunctatum* ssp. *dzungaricum* (26,0 %) и *Broscus semistriatus* (47,0 %), которые суммарно составили более 2/3 численного обилия всех выловленных жуужелиц. Также доминировал *Poecilus sericeus* (7,0 %). Высокая численность этих зоофагов на посевах хлопчатника обусловлена не только благоприятным микроклиматом, обусловленным орошением, но и обилием предпочитаемых ими жертв [8].

Таблица 1 – Видовое обилие и структура доминирования жукелиц на посевах озимой пшеницы и хлопчатника

Table 1 – Species abundance and structure of ground beetle dominance on crops of winter wheat and cotton

№ п/п	Вид / Species	Озимая пшеница / Winter wheat		Хлопчатник / Cotton	
		экз./ 10 л.с. / quantity	%	экз./10 л.с. / quantity	%
1	<i>Calosoma auropunctatum</i> ssp. <i>dzungaricum</i>	0,06	1,0	2,3	26,0
2	<i>C. denticolli</i>	-	-	0,01	0,2
3	<i>Cicindela campestris</i>	0,03	0,4	-	-
4	<i>C. germanica</i>	-	-	0,01	0,2
5	<i>Brachinus quadriguttatus</i>	0,04	0,6	-	-
6	<i>B. costatulus</i>	0,26	3,8	0,03	0,2
7	<i>Zabrus tenebriodes</i>	0,01	0,1	-	-
8	<i>Zabrus spinipes</i>	0,01	0,1	-	-
9	<i>Broscus cephalotes</i>	-	-	0,01	0,2
10	<i>B. semistriatus</i>	0,17	2,5	4,16	47,0
11	<i>Psevdotaphoxenus rufitarsis</i>	0,05	0,7	0,01	0,2
12	<i>Dynodes decipiens</i>	0,01	0,1	-	-
13	<i>Poecilus cupreus</i>	0,35	5,0	0,1	1,1
14	<i>P. punctulatus</i>	0,06	0,9	-	-
15	<i>P. crenuliger</i>	0,27	3,9	0,01	0,2
16	<i>P. puncticollis</i>	1,0	14,4	0,36	4,1
17	<i>P. sericeus</i>	0,19	2,7	0,62	7,0
18	<i>P. nitens</i>	-	-	0,01	0,2
19	<i>Pterostichus macer</i>	-	-	0,01	0,2
20	<i>Curtonotus desertus</i>	0,08	1,2	-	-
21	<i>Ophonus distinctus</i>	0,05	0,8	-	-
22	<i>Op. azureus</i>	0,02	0,3	-	-
23	<i>Harpalus rufipes</i>	0,40	5,8	0,03	0,2
24	<i>H. calceatus</i>	0,01	0,1	-	-
25	<i>H. grizeus</i>	0,01	0,1	-	-
26	<i>H. anxius</i>	0,02	0,3	-	-
27	<i>Harpalus</i> sp.	0,02	0,3	-	-
28	<i>H. circumspunctatus</i>	0,03	0,4	0,19	2,1
29	<i>H. distinguendus</i>	1,53	22,1	0,42	4,7
30	<i>H. smaragdinus</i>	-	-	0,03	0,3
31	<i>Syntomus obscuroguttatus</i>	0,05	0,7	-	-
32	<i>Calathus ambiguus</i>	1,32	19,1	0,11	1,2
33	<i>C. distinguendus</i>	0,01	0,1	-	-
34	<i>Dolychus halensis</i>	0,13	1,9	-	-
35	<i>Anizodactylus signatus</i>	0,01	0,1	-	-
36	<i>Acinopus laevigatus</i>	0,06	0,9	-	-
37	<i>Amara apricaria</i>	0,03	0,4	0,03	0,2
38	<i>A. consularis</i>	0,05	0,7	-	-
39	<i>A. aenea</i>	0,05	0,7	-	-
40	<i>A. ingenua</i>	0,03	0,4	0,28	3,2
41	<i>A. similata</i>	0,02	0,3	-	-
42	<i>A. eurynota</i>	-	-	0,03	0,3
43	<i>A. bifrons</i>	-	-	0,01	0,2
44	<i>Microlestes minutulus</i>	0,08	1,2	0,07	0,8
45	<i>Cymindus miliaris (variolosa)</i>	0,02	0,3	-	-
46	<i>C. lineata</i>	0,14	2,0	-	-
47	<i>C. angularis</i>	0,01	0,1	-	-
48	<i>C. latteralis</i>	0,01	0,1	-	-
49	<i>C. olgae*</i>	0,01	0,1	-	-
50	<i>Taphoxenus gigas</i>	0,01	0,1	-	-
	I. Carabidae	0,21	3,2	-	-
Общая уловистость Carabidae / Total catchability of Carabidae		6,93	100	8,91	100
Индекс Бергера-Паркера / The Berger-Parker index		0,23		0,47	

*Cymindis olgae Kabak & Komarov, 2021 новый вид для мировой фауны [7].

*Cymindis olgae Kabak & Komarov, 2021 a new species for the world's fauna [7].

Группу субдоминантов составили 4 вида: *Poecilus puncticollis*, *A. ingenua*, *Harpalus distinguendus* и *H. circumpunctatus*.

На посевах озимой пшеницы доминировали 5 видов: *Harpalus distinguendus* (22,1 %), *Calathus ambiguus* (19,1 %), *Poecilus puncticollis* (14,4 %), *Harpalus rufipes* (5,8 %), *Poecilus cupreus* (5,0 %). Субдоминанты были представлены четырьмя видами: *Brachinus costatus* (3,8 %), *Broscus semistriatus* (2,5 %), *P. sericeus* (2,7 %), *Cymindus lineata* (2,0). Также заметна оказалась численность личинок жуqeлиц (*Harpalus spp.*, *Calathus ambiguus*) – 3,2 % от общего вылова. Личинки *Calathus ambiguus* были активны с осени, вылавливались во время оттепелей, начиная с начала февраля (1 возраст).

Учитывая длительный период развития культуры, стабильность в осенне-зимний и весенний периоды, посевы озимой пшеницы оказались привлекательны для представителей с весенним и осенним сезоном размножения, которые и составили здесь ядро карабидокомплекса.

На рисунке 1 представлена общая динамика активности и доминантных видов за период наблюдений на посевах озимой пшеницы и хлопчатника.

Активность жуqeлиц в течение сезона напрямую зависит от наиболее массовых видов, составляющих ядро карабидлкомплекса. Кривая активности жуqeлиц на посевах озимой пшеницы имеет два чётко выраженных пика, которые обусловлены сезоном размножения доминантов. Первый пик, отмечаемый в конце мая, обусловлен весенними *Harpalus distinguendus*, *Poecilus puncticollis* и *Brachinus costatus*.

Максимальная активность *Harpalus distinguendus* отмечается с начала апреля (57 экз./10 л.-сут.). В этот момент здесь складываются наиболее благоприятные условия обитания для этого вида. Растения еще не сомкнулись в рядах, почва хорошо прогревается, не проводятся агротехнические мероприятия. С середины мая численность жуков этого вида снижается, но возрастает активность представителей рода *Poecilus* (*Poecilus puncticollis*, *P. cupreus*) и *Brachinus costatus*.

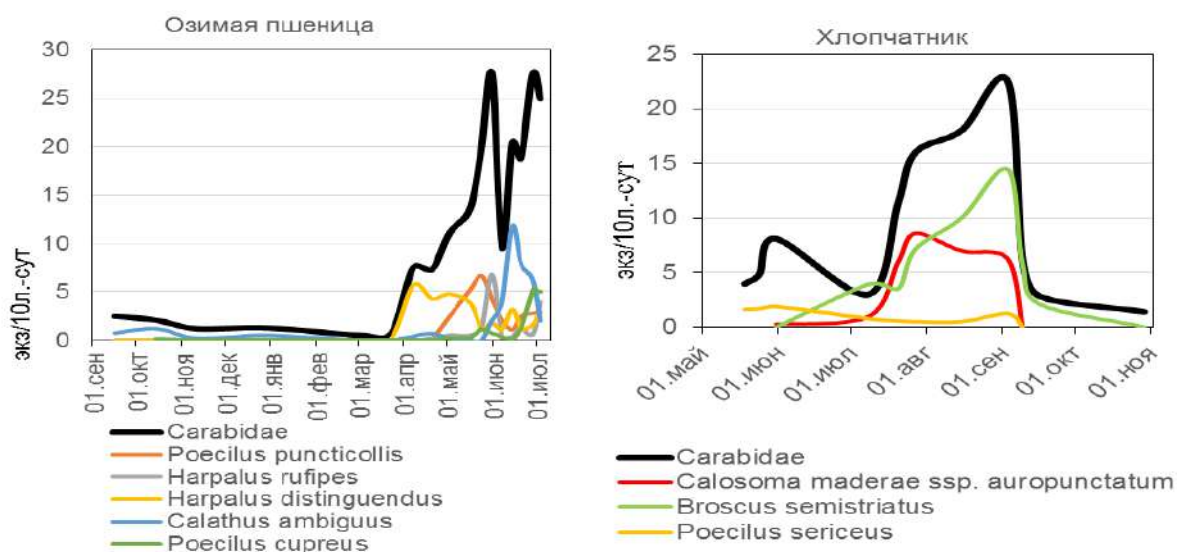


Рисунок 1 – Динамика активности жуqeлиц на посевах озимой пшеницы и хлопчатника
Figure 1 – Dynamics of ground beetle activity on winter wheat and cotton crops

Также была высока численность летне-осеннего *Harpalus rufipes*. В составе популяции *H. rufipes* постоянно присутствуют особи, зимующие в стадии имаго или личинок старшего возраста. Это обеспечивает присутствие вида на полях в течение всего сезона с ранней весны. Но, если 20-30 лет назад этот вид был абсолютным доминантом на орошаемых посевах (его доля в карабидокомплексе на различных культурах составляла от 20 до 67 %), с переходом на более экономные по расходу воды способы полива, отказа от открытых и комбинированных оросительных систем его численность существенно сократилась. С начала июня активность *H. rufipes* резко снизилась и до уборки культуры регистрировались единичные особи.

Второй пик активности отмечен в конце июня, незадолго до уборки культуры. В это время половина населения жукелиц представлена *Calathus ambiguus* (6,25 экз./10 л.-сут.), *Poecilus cupreus* (5,3 экз./10 л.-сут.) и *Cymindus lineata* (3,1 экз./10 л.-сут.). *Calathus ambiguus* относится к видам с осенним размножением, хотя немногочисленные генеративные особи встречаются в популяции с ранней весны. Его подъем численности в конце июня-начале июля связан с отрождением жуков нового поколения и миграцией имматурных особей, связанной с поиском более благоприятных по условиям местообитаний. В это время пшеница находится в фазе восковой-полной спелости, поливы не проводятся, на посевах складываются неблагоприятные по микроклиматическим и пищевым показателям условия. К явным мигрантам можно отнести *Cymindus lineata*, отмечавшийся здесь только в течение последней декады июня. *Poecilus cupreus* характеризуется высокой численностью на полях. Жуки наиболее активны на посевах зерновых в июне. Во второй половине лета, после созревания озимой пшеницы, они предпочитают посевы овощных культур, поэтому подъем их численности также связан с миграционными процессами.

Активное заселение посева хлопчатника жукелицами начинается со смыкания рядков и завершения междурядных обработок в конце июня. В течение двух последующих месяцев наблюдается пик активности в основном за счет двух абсолютных доминантов: *Calosoma auropunctatum dzungaricum* и *Broscus semistriatus* (около 70 % численного обилия жукелиц).

Calosoma auropunctatum ssp. dzungaricum крупный хищник с весенне-летним типом размножения и активности, предпочтение в питании отдает гусеницам. *Broscus semistriatus* характеризуется мультисезонным типом размножения, однако наибольшее число генеративных самок (до 90 %) отмечается с середины июля до начала сентября, именно в это время отмечается и наиболее высокая его активность. На прилегающих к посевам территориям с начала сентября жуки этого вида начинают концентрироваться на опушках лесополос (Карпова, 2001). Посевы хлопка привлекают этих жуков обилием жертв – гусеницами хлопковой совки и сверчков.

В течение летних месяцев на посевах хлопка наблюдается низкая активность личинок жукелиц (выловлено всего 1 экземпляр). К концу октября численность личинок последнего возраста незначительно возрастает (0,7 экз./10 л.-сут.). Также при проведении почвенных раскопок не были обнаружены места откладки яиц. Учитывая это, посевы хлопчатника нельзя считать подходящим местообитанием для размножения этой группы герпетобиев. Жукелицы в течение сезона мигрируют сюда из других местообитаний, привлекаемые кормовой базой и относительно стабильными условиями второй половины лета и до глубокой осени.

Следует отметить, что проведение защитных мероприятий против вредителей хлопчатника не оказали влияния на активность жукелиц. Она оставалась стабильной и на участках где применялись и химические и биологические инсектициды. Многолетние исследования влияния применения пестицидов и удобрений на сообщества жукелиц содержат противоречивые результаты [9, 10]. Также нет однозначного ответа на вопрос о влиянии методов органического сельского хозяйства на биологическое разнообразие жукелиц в агроценозах [9, 10, 11].

Анализ проведенных учетов активности имаго жукелиц показывает, что по численному обилию в экологическом составе на посевах хлопчатника лидирует степно-полевая группа (50,9 %), представленная 3 видами: *Broscus semistriatus*, *Poecilus punctipennis* *P. nitens* (рисунок 2). Единственный представитель пустынно-степной группы *Calosoma auropunctatum dzungaricum* обеспечил ей второе место (25,8 %).

Достаточно заметны представители степной (11,8 %), полевой (4,2 %) и лугово-полевой (7,1 %) зон. Единично отмечен представитель луговой группы *Pterostichus macer* (0,1 %).

На посевах озимой пшеницы спектр экологических групп представлен более пестро. Наибольшую долю в численном обилии занимает степная группа (35,6 %), представленная 17 видами, наиболее многочисленные из которых *Calathus ambiguus*, *Brachinus costatus* и *Poecilus crenuliger*. Лугово-полевые виды, ранее лидирующие в орошаемых агроценозах (Карпова, 2001), составили 29 % численного обилия карабидокомплекса (3 вида – *Poecilus cupreus*, *Harpalus distinguendus*, *Microlestes minutulus*). Третьей по значимости в экологическом преферентуме стала степно-полевая группа (17,4 %, 2 вида – *Poecilus punctipennis*, *Broscus semistriatus*).



Рисунок 2 – Экологическая структура населения жуков посевов озимой пшеницы и хлопчатника
Figure 2 – Ecological structure of the population of ground beetles of winter wheat crops and cotton

Заключение. Многолетними исследованиями разных авторов установлено, что в засушливых регионах орошение способствует сохранению в условиях агроландшафта видового и численного обилия жуков, большинство видов которых относятся к мезофилам [2, 8, 9, 12].

Сбор жуков с помощью вылова в почвенные ловушки Барбера позволил получить репрезентативные данные по их видовому и численному составу на посевах озимой пшеницы и хлопчатника, существенно отличающихся по технологии возделывания и продолжительности вегетации. Выявленный видовой состав жуков в целом характерен для агроландшафтов степной зоны Нижнего Поволжья [12, 13]. В период исследований на посевах хлопчатника доминировали 3 вида: *Calosoma auropunctatum* ssp. *dzungaricum* Gebler (26,0 %) и *Broscus semistriatus* Dejean (47,0 %) и *Poecilus sericeus* Fischer von Waldheim (7 %). Эти три вида составили 80 % от общего числа выловленных жуков. Субдоминанты, представленные четырьмя видами – 14,1 %. Индекс Бергера-Паркера составил 0,47, что говорит об относительно низком биоразнообразии представителей этого семейства на посевах хлопчатника. Наибольшая активность жуков (16-22,5 экз/10 л.-сут.) отмечается с конца июля и до середины сентября.

Экологический состав карабидокомплекса хлопчатника представлен шестью группами, лидирующее положение из которых занимает степно-полевая группа (50,9 %) и пустынно-степная группа (25,8 %).

Видовой состав жуков посевов озимой пшеницы более богат по сравнению с хлопчатником. За период исследований здесь отмечено 42 вида. Индекс Бергера-Паркера составил 0,23.

Относительно длительный период вегетации озимой пшеницы, создающий стабильные условия в осенне-зимний и весенний-раннелетний период, привлекает сюда виды с весенним и осенним сезоном размножения. Ядро карабидокомплекса представлено пятью доминантными видами: *Harpalus distinguendus* Duftschmidt (22,1 %), *Calathus ambiguus* Paykull (19,1 %), *Poecilus puncticollis* Schaller (14,4 %), *Harpalus rufipes* De Geer (5,8 %), *Poecilus cupreus* Linnaeus (5,0 %) и четырьмя субдоминантами: *Brachinus costatus* Quensel in Schonherr (3,8 %), *Broscus semistriatus* Dejean (2,5 %), *P. sericeus* Jeanne (2,7 %), *Cymindus lineata* Quensel in Schonherr (2,0). Суммарная численность которых составила соответственно 66,4 % и 11 %. Активность жуков на посевах озимой пшеницы характеризуется двумя четко выраженными подъемами. Первый, отмечаемый в конце мая, обусловлен весенними *Harpalus distinguendus*, *Poecilus puncticollis* и *Brachinus costatus*, ловистость в это время была на уровне 27,5 экз./10 л.-сут. Второй подъем отмечен в конце июня, перед уборкой культуры и связан с миграционными процессами.

В составе экологических групп на посевах озимой пшеницы наиболее заметны представители степной (35,6 %), лугово-полевой (29 %) и степно-полевой (17,4 %) групп.

Таким образом, в условиях орошения ведущая роль принадлежит видам из степной, лугово-полевой, степно-полевой и пустынно-степной групп. Они составляют от 87,3 до 96 % численного обилия.

Фенологические особенности развития, технология производства хлопчатника не позволяют жужелицам полностью реализовывать свой жизненный цикл, но его поля служат временным местообитанием видам с весенне-летним, летне-осенним и мультисезонным периодом активности, привлекательным по количеству жертв и микроклиматическим условиям.

Относительно стабильные условия на посевах озимой пшеницы в весенний и осенне-зимний период позволяют ряду видов реализовать свой жизненный цикл либо использовать их в это время как стацию переживания, особенно в тех агроценозах, где отсутствуют посевы многолетних трав.

Высокие миграционные способности обуславливают способность жужелиц использовать посевы культурных растений, когда на полях складываются наиболее благоприятные условия по микроклиматическим показателям напочвенного яруса, накапливается достаточное количество потенциальных жертв. В начале вегетации и после уборки урожая таких оптимальных условий для жужелиц нет, поэтому происходит их перераспределение по другим полям и местообитаниям в структуре агроландшафта.

Conclusions. Long-term studies by various authors have established that irrigation in arid regions contributes to the conservation of species and abundance of ground beetles in the conditions of the agricultural landscape, most of which belong to mesophylls [2, 8, 9, 12]. The collection of ground beetles by trapping them in Barber's soil traps allowed us to obtain representative data on their species and numerical composition in winter wheat and cotton crops, which differ significantly in cultivation technology and vegetation duration. The revealed species composition of ground beetles is generally characteristic of the agro-landscapes of the steppe zone of the Lower Volga region [12, 13]. During the research period, 3 species dominated cotton crops: *Calosoma auropunctatum* ssp. *dzungaricum* Gebler (26.0 %), *Broscus semistriatus* Dejean (47.0 %) and *Poecilus sericeus* Fischer von Waldheim (7 %). These three species accounted for 80 % of the total number of ground beetles caught. Subdominants represented by four types – 14.1 %. The Berger-Parker index was 0.47, which indicates a relatively low biodiversity of representatives of this family in cotton crops. The greatest activity of ground beetles (16-22.5 specimens/10 trap days) is observed from the end of July to the middle of September. The ecological composition of the carabidocomplex of cotton is represented by six groups, the leading position of which is occupied by the steppe-field group (50.9 %) and the desert-steppe group (25.8 %). The species composition of ground beetles in winter wheat crops is richer than in cotton. During the research period, 42 species were noted here. The Berger-Parker index was 0.23.

The relatively long growing season of winter wheat, which creates stable conditions in the autumn-winter and spring-early summer periods, attracts species with spring and autumn breeding seasons. The core of the carabidocomplex is represented by five dominant species: *Harpalus distinguendus* Duftschmidt (22.1 %), *Calathus ambiguus* Paykull (19.1 %), *Poecilus puncticollis* Schaller (14.4 %), *Harpalus rufipes* De Geer (5.8 %), *Poecilus cupreus* Linnaeus (5.0 %) and four subdominants: *Brachinus costatus* Quensel in Schonherr (3.8 %), *Broscus semistriatus* Dejean (2.5 %), *P. sericeus* Jeanne (2.7 %), *Cymindus lineata* Quensel in Schonherr (2.0). The total number of which was 66.4 % and 11 %, respectively. The activity of ground beetles in winter wheat crops is characterized by two distinct rises. The first one, observed at the end of May, was caused by spring *Harpalus distinguendus*, *Poecilus puncticollis* and *Brachinus costatus*, the catch rate at that time was at the level of 27.5 specimens/10 trap days. The second rise was noted at the end of June, before harvesting, and is associated with migration processes.

Representatives of steppe (35.6 %), meadow-field (29 %) and steppe-field (17.4 %) groups are the most prominent among the ecological groups in winter wheat crops. Thus, in irrigation conditions, the leading role belongs to species from the steppe, meadow-field, steppe-field and desert-steppe groups. They account for 87.3 to 96 % of the numerical abundance. The phenological features of development and the technology of cotton production do not allow ground beetles to fully realize their life cycle, but its fields serve as temporary habitats for species with spring-summer, summer-autumn and multi-seasonal periods of activity, attractive in terms of the number of victims and microclimatic conditions.

Relatively stable conditions on winter wheat crops in the spring and autumn-winter periods allow a number of species to realize their life cycle, or to use them at this time as a survival habitat., especially in those agricultural forecasts where there are no crops of perennial grasses.

High migration abilities determine the ability of ground beetles to use crops of cultivated plants, when the most favorable conditions are formed in the fields according to the microclimatic parameters of the soil layer, a sufficient number of potential victims accumulate. At the beginning of the growing season and after harvesting, there are no such optimal conditions for ground beetles, so they are redistributed to other fields and habitats in the structure of the agricultural landscape.

Библиографический список

1. Гусева О. Г., Коваль А. Г., Вяземская Е. О. Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) агроландшафтов Северо-Запада России и особенности их комплексов в различных агроценозах. Вестник защиты растений. 2015. № 4 (86). С. 20-26.
2. Комаров Е. В., Комарова О. П. Управление энтомокомплексами сельскохозяйственных культур при орошении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 2 (66). С. 111-118.
3. Романкина М. Ю. Структура населения жужелиц (Coleoptera, Carabidae) агроценозов в центре европейской части России (на примере Тамбовской области). Вестник Тамбовского государственного университета. 2010. Т. 15. Вып. 5.
4. Kimsanbaev O. Kh., Konotopskaya T. M. A Potential ultra-early cotton in southern Russia. Proceedings of international scientific and practical e-conference on agriculture and Food security "Anthropogenic evolution of modern soils and food production under changing of soil and climations" Orel State Agrarian University All-Russian Institute of Phytopathology Gorsky State Agrarian University. 2015. Pp. 40-41.
5. Подковыров И. Ю., Ермак Д. Ю. Приемы формирования качества семян хлопчатника при выращивании на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2021. № 1 (61). С. 174-182.
6. Дунаев Е. А. Методы эколого-энтомологических исследований. М., 1997.
7. Kabak I. I., Komarov E. V. A New Species of the Genus Cymindis Latreille, 1805 (Coleoptera, Carabidae: Lebiini) from the Lower Volga Region. Entomological Review. 2021. V. 101. No 7. Pp. 973-978.
8. Комарова О. П. Влияние орошения на формирование энтомокомплексов агроландшафтов в Нижнем Поволжье. Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 58-64.
9. Комарова О. П. Биоразнообразие энтомологических сообществ в орошаемых агроландшафтах Нижнего Поволжья. Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1 (103). <https://research-journal.org/archive/1-103-2021-january/bioraznoobrazie-entomologicheskix-soobshhestv-v-oroshaemyx-agrolandshaftax-nizhnego-povolzhya>.
10. Максимович К. Ю. Факторы, оказывающие влияние на численность и пространственное распределение жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроценозах с разным уровнем интенсификации агротехнологий. Агро-ЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2022. № 2. http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_242.pdf.
11. Kromp B. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. Agriculture, Ecosystems & Environment. 1999. V. 74. № 1-3. Pp. 187-228.
12. Комаров Е. В., Комарова О. П. Вредные и полезные насекомые орошаемых агроценозов Нижнего Поволжья: распространение и системы защиты: монография. Волгоград: ООО «Сфера», 2024. 236 с.
13. Komarov E. V. New data on the fauna and distribution of beetles (Coleoptera) in the Lower Volga and Middle Don regions. Caucasian Entomological Bulletin. 2020. V. 16. No 1. Pp. 35-38.

References

1. Guseva O. G., Koval A. G., Vyazemskaya E. O. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of agrolandscapes of the North-West of Russia and features of their complexes in various agrocenoses. Plant Protection Bulletin. 2015. № 4 (86). Pp. 20-26.
2. Komarov E. V., Komarova O. P. Management of entomocomplexes of agricultural crops during irrigation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex. 2022. № 2 (66). Pp. 111-118.
3. Romankina M. Yu. Structure of the population of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of agrocenoses in the center of the European part of Russia (on the example of the Tambov region). Bulletin of Tambov State University. 2010. V. 15. I. 5.
4. Kimsanbaev O. Kh., Konotopskaya T. M. A Potential ultra-early cotton in south-ern Russia. Proceedings of international scientific and practical e-conference on agriculture and Food security "Anthropogenic evolution of modern soils and food production under changing of soil and climations" Orel State Agrarian University All-Russian Institute of Phytopathology Gorsky State Agrarian University. 2015. Pp. 40-41.
5. Podkovyrov I. Yu., Ermak D. Y. Methods of Forming the Quality of Cotton Seeds in Cultivation on Light Chestnut Soils of the Volgograd Region. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. 2021. № 1 (61). Pp. 174-182.
6. Dunaev E. A. Metody ekologo-entomologicheskikh issledovaniy [Methods of ecological and entomological research]. Moscow, 1997.
7. Kabak I. I., Komarov E. V. A New Species of the Genus Cymindis Latreille, 1805 (Coleoptera, Carabidae: Lebiini) from the Lower Volga Region. Entomological Review. 2021. V. 101. No 7. Pp. 973-978.
8. Komarova O. P. Influence of irrigation on the formation of entomocomplexes of agrolandscapes in the Lower Volga region. Advances in modern natural science. 2018. № 3. Pp. 58-64.
9. Komarova O. P. Biodiversity of Entomological Communities in Irrigated Agrolandscapes of the Lower Volga Region. International Research Journal. 2021. № 1 (103). <https://research-journal.org/archive/1-103-2021-january/bioraznoobrazie-entomologicheskix-soobshhestv-v-oroshaemyx-agrolandshaftax-nizhnego-povolzhya>.
10. Maksimovich K. Yu. Factors influencing the abundance and spatial distribution of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in agrocenoses with different levels of intensification of agricultural technologies. AgroEcoInfo: Electronic Scientific and Production Journal. 2022. № 2. http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_242.pdf.
11. Kromp B. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. Agriculture, Ecosystems & Environment. 1999. V. 74. № 1-3. Pp. 187-228.
12. Komarov E. V., Komarova O. P. Harmful and Useful Insects of Irrigated Agrocenoses of the Lower Volga Region: Distribution and Protection Systems: Monograph. Volgograd: ООО Сфера, 2024. 236 p. (In Russian)
13. Komarov E. V. New data on the fauna and distribution of beetles (Coleoptera) in the Lower Volga and Middle Don regions. Caucasian Entomological Bulletin. 2020. V. 16. No 1. Pp. 35-38.

Информация об авторах

Карпова Татьяна Леонидовна, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: calosoma.00@mail.ru

Роменская Ольга Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: o_romenskaya88@mail.ru

Семенова Екатерина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru

Authors' Information

Karpova Tatyana Leonidovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: calosoma.00@mail.ru

Romenskaya Olga Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: o_romenskaya88@mail.ru

Semenova Ekaterina Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-13

**ECOLOGICAL AND RECLAMATION MONITORING OF THE WATER BODIES IN THE
EXPERIMENTAL STATION "OROSHAEMAYA": THE PROBLEMS AND THE SOLUTIONS****Komarova O. P., Tikhonova M. K., Moskovets M. V., Toropov A. Y.**

*All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vnioz-algo@ya.ru

Received 12.03.2025

Submitted 17.04.2025

The research was carried out within the framework of the research project for 2022-2024 "Assess the ecological state of agrolandscapes with their long-term regular irrigation in conditions of increased anthropogenic and climatic stress on the basis of environmental and land reclamation monitoring data using digital analysis technologies" Topic No. FNFR-2022-0003.

Summary

The relevance and importance of ecological and meliorative monitoring of water bodies of the experimental station "Oroshaemaya", problems and ways to solve them are studied. The results of experimental studies on reducing the mineralization of irrigation water based on the introduction of microalgae *Chlorella vulgaris* into reservoirs used for irrigation of crops are presented.

Abstract

Introduction. The quality of irrigation water has a significant impact on the development of soil salinization and salinization processes, and a decrease in crop yields. In this regard, ecological and reclamation monitoring of water bodies used as water sources for irrigation of agricultural lands, as well as the introduction of new technologies to improve the quality of irrigation water are relevant. **Object.** Water resources used for irrigation on the territory of the Experimental station "Oroshaemaya". The subject of research is the collection, processing and analysis of primary data on the state of water quality obtained during monitoring. **Materials and methods.** Water quality studies were conducted according to generally accepted methods. Water sampling for hydrochemical composition was carried out with a bathometer in the surface horizon up to 0.5 m at a depth of no more than 5 m (in accordance with RD 52.24.309–2016). Hydrochemical analyses of water were performed in accredited laboratories. **Results and conclusions.** As a result of the conducted research in the framework of ecological and meliorative monitoring of water bodies at the Experimental station "Oroshaemaya", the problem of irrigation water quality has been identified. Observations of water bodies (Varvarovskoye and Bereslavskoye reservoirs, ponds Verkhny and Nizhny) over the course of three years showed significant differences in water mineralization for irrigation of agricultural land. Studies of the quality complexes of irrigation water used from the Varvarovsky and Bereslavsky reservoirs have confirmed its suitability for irrigation without environmental damage in accordance with GOST 17.1.2.03-90. The indicators of total water mineralization did not exceed the maximum permissible concentrations (MPC). Scientific and economic experiments were conducted to reduce the mineralization of irrigation water with the introduction of microalgae *Chlorella vulgaris* strain IGF No. C-111 into the Verkhny Pond, which affected the decrease in total mineralization compared with water from the Nizhny Pond, where the introduction was not carried out. Based on the data obtained, it should be noted that one of the safe methods of solving the problem of reducing the mineralization of irrigation water may be the introduction of microalgae.

Keywords: water bodies, monitoring of water bodies, water salinity, irrigation of crops, microalgae.

Citation. Komarova O. P., Tikhonova M. K., Moskovets M. V., Toropov A. Y. Ecological and reclamation monitoring of the water bodies in the Experimental Station "Oroshaemaya": the problems and the solutions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 125-133 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-13.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. All authors of this article have reviewed and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 502.51(28):631.6

ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ «ОРОШАЕМАЯ»: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Комарова О. П., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Тихонова М. К., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Московец М. В., научный сотрудник

Торопов А. Ю., научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках тематики НИР 2022-2024 гг. «Дать оценку экологическому состоянию агроландшафтов при их длительном регулярном орошении в условиях усиления антропогенных и климатических стрессовых воздействий на основе данных эколого-мелиоративного мониторинга с использованием технологий цифрового анализа». Тема № FNFR-2022-0003.

Актуальность. Качество оросительной воды оказывает значительное влияние на развитие процессов засоления и осолонцевания почвы, снижение урожайности сельскохозяйственных культур. В связи с этим эколого-мелиоративный мониторинг водных объектов, используемых в качестве водоисточников для орошения сельскохозяйственных угодий, а также внедрение новых технологий для улучшения качества оросительной воды являются актуальными. **Объект исследований** – водные ресурсы, используемые для орошения, на территории Опытной станции «Орошаемая». **Предмет исследований** – сбор, обработка и анализ первичных данных о состоянии качества воды, полученных в ходе проведения мониторинга. **Цель исследований** – накопление базы данных для установления нормативов водной нагрузки на орошаемые массивы, обеспечивающих экологическую устойчивость агроландшафтов при интенсивном их использовании. **Материалы и методы.** Исследования качества воды проводили по общепринятым методикам. Отбор проб воды на гидрохимический состав проводили батометром в поверхностном горизонте до 0,5 м при глубине не более 5 м (в соответствии с РД 52.24.309–2016). Гидрохимические анализы воды выполняли в аккредитованных лабораториях. **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований в рамках эколого-мелиоративного мониторинга водных объектов Опытной станции «Орошаемая» выявлена проблема качества оросительной воды. Наблюдения за водными объектами (Варваровское и Береславское водохранилища, пруды Верхний и Нижний) в течение трех лет показали значительные различия минерализации воды для орошения сельскохозяйственных угодий. Исследования комплексов показателей качества используемой поливной воды из Варваровского и Береславского водохранилищ подтвердили ее пригодность для орошения без экологического ущерба в соответствии с ГОСТ 17.1.2.03-90. Показатели общей минерализации воды не превышали предельно допустимых концентраций (ПДК). Проведены научно-хозяйственные опыты по снижению минерализации поливной воды с вселением микроводоросли *Chlorella vulgaris* штамм ИФР № С-111 в пруд Верхний, что сказалось на снижении общей минерализации в сравнении с водой из Нижнего пруда, где вселение не проводилось. На основании полученных данных следует отметить, что одним из безопасных методов решения проблемы снижения минерализации оросительной воды может быть вселение микроводоросли.

Ключевые слова: водные объекты, мониторинг водных объектов, минерализация воды, орошение сельскохозяйственных культур, микроводоросли.

Цитирование. Комарова О. П., Тихонова М. К., Московец М. В., Торопов А. Ю. Эколого-мелиоративный мониторинг водных объектов в Опытной станции «Орошаемая»: проблемы и пути решения. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 125-133. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-13.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Важнейшее значение для человечества имеют водные ресурсы, они обеспечивают бытовые потребности, необходимы для развития промышленности и сельскохозяйственного производства. Эколого-мелиоративный мониторинг водных объектов – это постоянное наблюдение за водными источниками, состоянием окружающей природной среды и биосферы в целом с целью сохранения хорошего качества воды [1].

В целях эффективного использования водных ресурсов предъявляются высокие требования к их качеству [2]. Единой оценки качества воды для орошения не существует из-за взаимодействия большого количества факторов, влияющих на процессы, протекающие в почве при орошении [3]. Научные основы оценки качества оросительной воды и его влияния на развитие процессов засоления и осолонцевания почв рассмотрены в российских [4, 5, 6] и зарубежных научных публикациях [7, 8, 9].

Дополнительно с мониторингом непосредственно водных объектов (химические и физические показатели качества воды) необходимо изучать природно-климатические условия – температуру воздуха, среднегодовое количество осадков, приходную часть воды из других источников [1].

Из литературных источников известно, что 98 % от общего объема воды (1,5 млрд км³) на Земле составляют солёные воды, и только 28 млн. км³ – пресные [9].

Анализ проблемы доступности и качества водных ресурсов показывает, что в России основой водных ресурсов является речной сток, составляющий в средние по водности годы 4262 км³. Местный сток на территории Волгоградской области формируется в объеме 4,9 км³/год, что составляет 42,9 тыс. м³/год на 1 квадратный километр территории или 1,9 тыс. м³/год на одного человека. С учетом транзитного стока из сопредельных территорий суммарный сток повышается до 275 км³/год, а на одного человека – до 100,2 тыс. м³/год. В 90-е годы XX века объёмы забираемой пресной воды из природных объектов на социально-экономические цели значительно сократились. Однако, несмотря на значительное сокращение объемов забора пресной воды из поверхностных водных объектов и сброса в них загрязненных сточных вод, значительного улучшения качества волжской и донской воды не происходит [10].

Самое большое потребление воды приходится на сельское хозяйство. Из многолетних наблюдений за водными объектами сделаны выводы: регулярные загрязнения, происходящие в исследуемых водоемах, связаны с поступлением биогенных элементов, большого количества взвеси, а также загрязняющих веществ антропогенного происхождения, по многим параметрам превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) для открытых водоемов [11].

Эколого-мелиоративное состояние водохозяйственных объектов зависит от соответствия норм и допусков, по которым оценивается степень отклонения параметров объекта, определяющих его естественное состояние и ресурс нормального функционирования [12]. При избыточном использовании минеральных удобрений во время полива увеличивается общее количество содержания солей, что отрицательно влияет на рост корней, происходит высушивание верхушек молодых листьев, появляются признаки физиологической засухи, происходит полное отмирание корневой системы и гибель растений [13].

Минерализация поверхностных вод является одним из важнейших показателей, влияющих на ее использование для орошения сельскохозяйственных культур. *При минерализации более 0,7 г/л без специальной подготовки воду используют только при промывном режиме увлажнения* [14]. Повышенная концентрация солей в воде ограничивает ее использование. Для удаления солей имеется несколько методов очистки: выпаривание с последующей конденсацией, электромембранный и баромембранный, дисципация, обратный осмос, электродиализ. Все эти методы неперспективны в сельском хозяйстве, требуют больших материальных и энергетических затрат [15].

В литературных источниках известен метод снижения минерализации поливной воды с использованием водного растения ряска малая (*Lemna minor*), которое обладает солеустойчивостью и потребляет много соли из воды, однако этот метод не во всех источниках может быть приемлем [16].

При проведении эколого-мелиоративного мониторинга водоисточников, используемых для орошения на территории Опытной станции «Орошаемая», выяснились проблемы качества оросительной воды, что послужило обоснованием проведения исследований по разработке и реализации мероприятий, направленных на повышение качества воды в водоисточниках.

Материалы и методы. Исследования по изучению качества оросительной воды, используемой для орошения сельскохозяйственных культур, проводятся в рамках эколого-мелиоративного мониторинга на водных объектах на территории хозяйственной деятельности Всероссийского НИИ орошаемого земледелия в Опытной станции «Орошаемая»,

расположенной в Советском районе г. Волгограда. Опытная станция находится в 20 км от областного центра и в 28 км от ближайшей грузовой железнодорожной станции «Бекетовская» Приволжской железной дороги.

При проведении исследований учитывали и анализировали экологические показатели водных объектов (минерализация и солевой состав воды). Исследования проводили по общепринятым методикам. Пробы воды на гидрохимический состав отбирали батометром в поверхностном горизонте до 0,5 м при глубине не более 5 м (РД 52.24.309-2016). Анализы проводили в соответствии с методиками, внесенными в государственный реестр методик количественного химического анализа природных вод и действующими нормативными документами.

Результаты и обсуждение. Источниками орошения для полива сельскохозяйственных культур в опытной станции «Орошаемая» является вода Варваровского, Береславского водохранилищ, прудов Верхний и Нижний. При анализе источников орошения в опытной станции «Орошаемая» было установлено, что важнейшей социально-экономической проблемой является деградация земель сельскохозяйственного назначения, как основного средства производства в сельском хозяйстве. Орошение земель водой повышенной минерализации приводит к изменению химического состава, физических свойств почв. На орошаемых землях при поливе некачественной водой происходит их засоление, в результате чего с каждым годом выходит из строя все больше земель и снижается их плодородие. Таким образом проблема качества оросительных вод является чрезвычайно актуальной.

Результаты исследований оценки качества поливной воды Береславского и Варваровского водохранилищ на протяжении периода наблюдений показывают уменьшение концентрации бикарбонатов (HCO_3^-) по годам исследований, а содержание сульфатов (SO_4^{2-}) превышало показания ПДК, прочие анализируемые компоненты варьировали в узком диапазоне и явных тенденций к превышениям не отмечено (таблица 1). Качество оросительной воды изменяется в зависимости от места водозабора из водоисточников.

Таблица 1 – Динамика минерализации и содержание основных ионов воды в заливах Варваровского и Береславского водохранилищ

Table 1 – Dynamics of mineralization and the content of the main water ions in the bays of Varvarovskoe and Bereslavskoe reservoirs

Показатели / Indicators	Варваровское / Varvarovskoe				Береславское / Bereslavskoe				ПДК, г/дм ³ / MDC, g/dm ³
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее / average	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее / average	
pH	8,4	8,3	6,4		8,3	8,4	8,6		6,5-8,5
CO_3^{2-} , г/дм ³ / CO_3^{2-} , g/dm ³	-	-	0,007	-	-	-	0,006	-	1,000
HCO_3^- , г/дм ³ / HCO_3^- , g/dm ³	0,217	0,209	0,194	0,207	0,231	0,204	0,189	0,208	1,000
Cl^- , г/дм ³ / Cl^- , g/dm ³	0,147	0,165	0,162	0,158	0,146	0,142	0,165	0,151	0,250
SO_4^{2-} , г/дм ³ / SO_4^{2-} , g/dm ³	0,309	0,449	0,310	0,356	0,340	0,423	0,322	0,362	0,250
Ca^{2+} , г/дм ³ / Ca^{2+} , g/dm ³	0,075	0,090	0,075	0,080	0,078	0,092	0,071	0,080	0,200
Mg^{2+} , г/дм ³ / Mg^{2+} , g/dm ³	0,049	0,076	0,045	0,057	0,057	0,066	0,049	0,057	0,100
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$, г/дм ³ / $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, g/dm ³	0,150	0,157	0,163	0,157	0,151	0,147	0,192	0,163	0,200
Общая минерализация, г/дм ³ / Total mineralization, g/dm ³	0,949	1,148	0,956	1,018	1,005	1,079	0,994	1,026	1,500

В поверхностных водах Варваровского водохранилища отмечается наиболее низкое содержание легкорастворимых солей, которое варьировало от 0,956 до 1,148 г/дм³. Минерализация воды Береславского водохранилища была несколько выше и в течение оросительного периода изменялась от 0,994 до 1,079 г/дм³. Исследования комплексов по-

казателей качества используемой поливной воды из Варваровского и Береславского водохранилищ подтвердили ее пригодность для орошения без экологического ущерба в соответствии с ГОСТ 17.1.2.03-90. Показатели общей минерализации воды не превышали предельно допустимых концентраций (ПДК).

Сотрудниками ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» проводятся наблюдения качества оросительной воды в прудах Верхний и Нижний. На водосборной площади пруда Верхний преобладают светло-каштановые почвы, тяжелосуглинистые, с характерной ветровой эрозией, на которых мозаично распространены засоленные почвенные покровы [17].

Склоны по обоим берегам пруда пологие – от 6° до 25°, занятые сельскохозяйственными угодьями и террасами со степными ландшафтами. По основным физико-химическим параметрам почвы существенно не отличаются от характеристик зональных светло-каштановых почв, обладая водопроницаемостью с поверхности 40,0-42,5 мм/час и плотностью почвы в слое 0,25-0,27 м в диапазоне от 1,30 до 1,40 т/м³. Характеризуются низкими аккумулялирующими свойствами и могут выполнять транзитную гидрологическую функцию в виде временных водотоков лишь при выпадении значительных интенсивных осадков [18].

Пруд Нижний образован в результате перекрытия русла реки Песчанка земляной плотиной с системой водослива. Он имеет вытянутую по широте форму с более пологой и мелководной (менее 1 м) зоной в левобережной части. Ложе водоёма сложено глинистыми грунтами, дно заиленное с остатками растительности. Основными элементами приходной части водного баланса пруда является приток поверхностных вод реки Песчанка, весенний местный склоновый сток с водосборной площади и грунтовые воды. Весеннее наполнение пруда связано с дождевыми осадками и с накоплением зимних запасов влаги в снежном покрове, который в течение зимнего периода претерпевает под влиянием температуры воздуха существенные изменения [19].

В течение трех лет проводились наблюдения за качеством оросительной воды в прудах Верхний и Нижний (рисунок 1).



Рисунок 1 – Отбор проб воды в прудах Верхний и Нижний и вселение *Chlorella vulgaris*
Figure 1 – Water sampling in Verkhny and Nizhny ponds and *Chlorella vulgaris* settlement

Из исследуемых водоёмов максимальная общая минерализация поверхностных вод отмечается в пруду Нижнем, по годам исследований она варьирует от 3,642 до 4,364 г/дм³ (таблица 2). Минерализация воды из пруда Верхний была ниже и изменялась от 1,635 до 2,366 г/дм³.

При использовании воды для орошения сельскохозяйственных культур из пруда Верхний опасность засоления почв средняя, а забор воды из пруда Нижний для орошения приведёт к вторичному засолению почв поливаемой площади, так как минерализация воды здесь высокая.

В связи с этим для снижения минерализации воды в прудах Опытной станции «Орошаемая» сотрудники ВНИИОЗ проводили лабораторные опыты по снижению минерализации прудовой воды с использованием протококковой микроводоросли *Chlorella*

vulgaris, в которых получили обнадеживающие результаты. Это послужило началом проведения опытов по вселению хлореллы и исследований оросительной воды в водоемах. С 2022 по 2024 год в пруд Верхний проведено вселение микроводоросли *Chlorella vulgaris* штамм ИФР № С-111 плотностью клеток 14 млн/мл, из расчета 30 литров на 1 га площади водного зеркала.

Таблица 2 – Динамика содержания основных ионов воды в прудах Верхний и Нижний
Table 2 – Dynamics of mineralization and the content of the main water ions in the ponds Verkhny and Nizhny

Показатели / Indicators	Пруд Верхний / Pond Verkhny				Пруд Нижний / Pond Nizhny				ПДК, г/дм ³ / MDC, g/dm ³
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее / average	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее / average	
pH	8,6	8,8	8,0	8,4	8,36	8,8	8,81	8,6	6,5-8,5
CO ₃ ²⁻ , г/дм ³ / CO ₃ ²⁻ , g/dm ³	0,013	0,008	0,016	0,123	0,015	0,013	0,027	0,018	1,000
HCO ₃ ⁻ , г/дм ³ / HCO ₃ ⁻ , g/dm ³	0,396	0,301	0,366	0,354	0,471	0,485	0,541	0,499	1,000
Cl ⁻ , г/дм ³ / Cl ⁻ , g/dm ³	0,547	0,266	0,351	0,388	0,926	0,662	0,791	0,793	0,250
SO ₄ ²⁻ , г/дм ³ / SO ₄ ²⁻ , g/dm ³	0,637	0,595	0,401	0,544	1,588	1,394	1,651	1,544	0,250
Ca ²⁺ , г/дм ³ / Ca ²⁺ , g/dm ³	0,145	0,120	0,115	0,127	0,198	0,186	0,189	0,191	0,200
Mg ²⁺ , г/дм ³ / Mg ²⁺ , g/dm ³	0,128	0,116	0,063	0,102	0,180	0,197	0,166	0,181	0,100
Na ⁺ + K ⁺ , г/дм ³ / Na ⁺ + K ⁺ , g/dm ³	0,500	0,249	0,323	0,357	0,984	0,705	0,999	0,896	0,200
Общая минерализация, г/дм ³ / Total mineralization, g/dm ³	2,366	1,655	1,635	1,885	4,361	3,642	4,364	4,122	1,500

На протяжении наблюдений за качеством воды в исследуемых прудах получены различные результаты: в пруду Нижний с 2022 по 2024 годы общая минерализация превышала предельно допустимые концентрации (ПДК) в 2,4-2,9 раз, особенно по таким показателям как Cl⁻, SO₄²⁻, Mg²⁺, Na⁺ и K⁺; однако в пруду Верхний, где вселяли *Chlorella vulgaris*, общая минерализация воды заметно снижалась – от 2366 мг/дм³ до 1635 мг/дм³ и по сравнению с показателями воды пруда Нижний приблизилась к нормативным (рисунок 2). Только показатели по Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺ и K⁺ в пруду Верхний несколько превышали ПДК, но показатели минерализации были значительно ниже, чем в пруду Нижний, где не было вселения хлореллы.

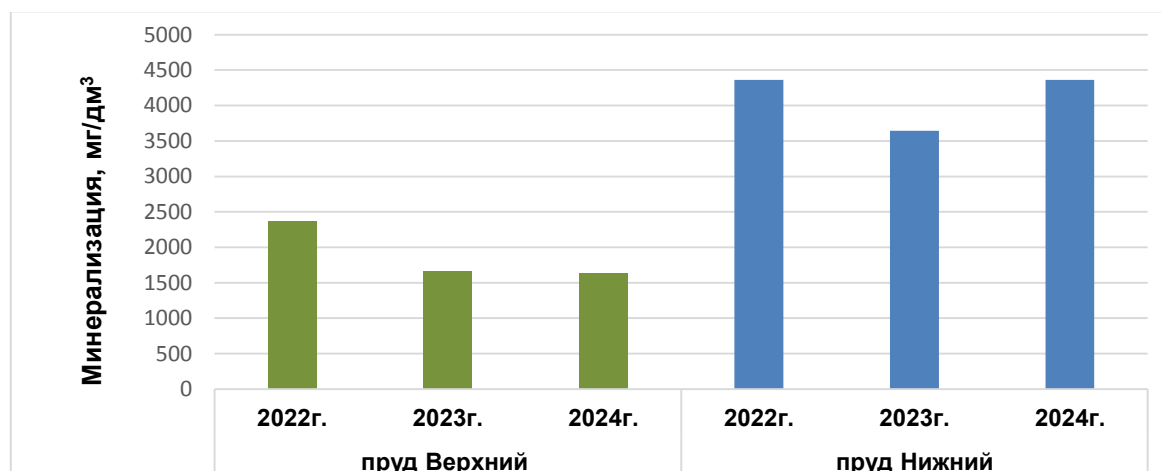


Рисунок 2 – Динамика общей минерализации воды в прудах Верхний и Нижний за 2022-2024 гг.
Figure 2 – Dynamics of mineralization in the waters in the ponds Verkhny and Nizhny for 2022-2024

Заключение. При проведении исследований в рамках эколого-мелиоративного мониторинга водных объектов на территории опытной станции «Орошаемая» проанализированы полученные данные о состоянии качества воды в Варваровском, Береславском водохранилищах, прудах Верхний и Нижний. Вода из Варваровского и Береславского водохранилищ в течение трех лет (2022-2024 гг.) по общей минерализации не превышала показателей ПДК и составляла в среднем 1021,72 мг/дм³. Использование этой воды для орошения сельскохозяйственных культур не приведет к засолению почв. В то же время в прудах Верхний и Нижний общая минерализация воды (1,885 и 4,122 мг/дм³ соответственно) не соответствует требованиям ПДК, следовательно, ее использование в целях орошения возможно только при проведении биоремедиации. Одним из таких методов является вселение хлореллы *Chlorella vulgaris*, снижающее степень минерализации и повышающее качество воды до показателей, не превышающих ПДК.

Conclusions. When conducting research within the framework of ecological and reclamation monitoring of water bodies on the territory of the experimental station "Irrigated", the data obtained on the state of water quality in the Varvarovsky, Bereslavsky reservoirs, Verkhny and Nizhny ponds were analyzed. Water from the Varvarovsky and Bereslavsky reservoirs for three years (2022-2024) did not exceed the maximum permissible concentration in terms of total mineralization and averaged 1,021.72 mg/dm³. Using this water to irrigate crops will not lead to soil salinization. At the same time, the total salinity of water in the Upper and Lower ponds (1,885 and 4,122 mg/dm³, respectively) does not meet the requirements of the MPC, therefore, its use for irrigation purposes is possible only with bioremediation. One of these methods is the introduction of *Chlorella vulgaris*, which reduces the degree of mineralization and improves water quality to levels not exceeding the maximum permissible concentration.

Библиографический список

1. Кутявина Т. И., Ашихмина Т. Я. Современное состояние и проблемы мониторинга поверхностных водных объектов России. Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 14-15.
2. Долгов С. В., Коронкевич Н. И. Современные особенности и динамика баланса биогенных веществ в бассейне реки Кудымы. Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 2. С. 151-161.
3. Подовалова С. В., Волкова С. В., Иванютин Н. М. Комплексная оценка пригодности водных ресурсов для орошения. Природообустройство. 2023. № 5. С. 13-19.
4. Макарычев С. В., Лимонов К. А. Ирригационная оценка и использование поверхностных вод (на примере Больше-Черемшанской оросительной системы Первомайского района Алтайского края). Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 12(182). С. 64-70.
5. Семененко С. Я. и др. Использование мелиоративно-экологической биотехнологии при высокой минерализации оросительной воды. Орошаемое земледелие. 2024. № 2 (45). С. 40-44.
6. Ермакова К. С., Давыдов А. С., Горносталь Р. Г. Влияние оросительных вод на мелиоративное состояние земель на Алейской оросительной системе. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (175). С. 50-55.
7. Dumanski J. Evolving concepts and opportunities in soil conservation. International Soil and Water Conservation Research. 2015. V. 3 (1). Pp. 1-14.
8. Normatov I. Sh., Anderson R., Karimzoda A., Normatov A. Conservation and protection of the Central Asia region highlands water resources is the key to the future development of agriculture and food security. Sustainable Development of Mountain Territories. 2021. V. 13. No 4 (50). Pp. 469-475.
9. Malikova D. M., et al. Method for solving problems of the theory restrictions of infocommunication systems using linear equations with many unknowns. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Saint Petersburg. 2020. P. 012018.
10. Шевченко В. А., Исаева С. Д., Дедова Э. Б. Проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса Нижнего Дона в текущих климатических условиях. Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 12. С. 1145-1150.
11. Слабунова А. В. Современное состояние системы мониторинга окружающей среды в аспекте оценки диффузного загрязнения водных объектов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4 (40). С. 103-121.
12. Скрипка Г. И. и др. Мониторинг эрозионных процессов водоохраной зоны Цимлянского водохранилища с помощью программно-аппаратного комплекса. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019. № 3 (203). С. 80-87.
13. Дедова Э. Б. Технология использования минерализованной воды для полива кормовых культур. Аграрная наука. 2022. № 1. С. 114-117.
14. Шевченко В. А., Максименко В. П., Кудрявцева Л. В. Применение воды с повышенным содержанием солей для орошения. Вестник Российской сельскохозяйственной науки РАН. 2018. № 6. С. 84-86.
15. Yasinski S. V., Venitsianov E. V., Vishnevskaya I. A. Diffuse pollution of water bodies and estimation of export of biogenic elements under different scenarios of water use in the watershed. Water Resources. 2019. V. 46. Pp. 266-277.
16. Фролова М. В., Комарова О. П., Московец М. В. Современная биотехнология в улучшении качества воды открытых водоёмов многоцелевого назначения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 213-218.
17. Горохова И. Н., Панкова Е. И. Методические подходы к оценке состояния орошаемых земель сухостепной зоны Волгоградской области с использованием космических снимков. Экосистемы: экология и динамика. 2023. № 1. С. 5-37.

18. Семененко С. Я., Новиков А. Е. Показатели мелиоративного состояния орошаемых земель Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С.115-120.

19. Мелихова Н. П. и др. Факторы стабилизации плодородия почвы в орошаемых севооборотах при различном соотношении в структуре посевов кормовых культур. Орошаемое земледелие. 2019. № 1. С. 24-27.

References

1. Kutyavina T. I., Ashikhmina T. Y. Current state and problems of monitoring surface water objects in Russia. Theoretical and applied ecology. 2021. № 2. Pp. 14-15.

2. Dolgov S. V., Koronkevich N. I. Modern Features and Dynamics of the Balance of Biogenic Substances in the Kudyma River Basin. Water. 2020. V. 47. No 2. Pp. 151-161.

3. Podovalova S. V., Volkova S. V., Ivanyutin N. M. Comprehensive assessment of the suitability of water resources for irrigation. Environmental Engineering. 2023. № 5. Pp. 13-19.

4. Makarychev S. V., Limonov K. A. Irrigation assessment and use of surface waters (on the example of the Bolshe-Cheremshanskaya irrigation system of the Pervomaysky district of the Altai region). Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2019. № 12(182). Pp. 64-70.

5. Semenenko S. Y. et al. Use of Land Reclamation and Ecological Biotechnology at High Mineralization of Irrigation Water. Irrigated agriculture. 2024. № 2 (45). Pp. 40-44.

6. Ermakova K. S., Davydov A. S., Gornostal R. G. Influence of irrigation waters on the reclamation state of lands in the Alei irrigation system. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2019. № 5 (175). Pp. 50-55.

7. Dumanski J. Evolving concepts and opportunities in soil conservation. International Soil and Water Conservation Research. 2015. V. 3 (1). Pp. 1-14.

8. Normatov I. Sh., Anderson R., Karimzoda A., Normatov A. Conservation and protection of the Central Asia region highlands water resources is the key to the future development of agriculture and food security. Sustainable Development of Mountain Territories. 2021. V. 13. No 4 (50). Pp. 469-475.

9. Malikova D. M., et al. Method for solving problems of the theory restrictions of infocommunication systems using linear equations with many unknowns. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Saint Petersburg. 2020. P. 012018.

10. Shevchenko V. A., Isaeva S. D., Dedova E. B. Problems of reclamation and water management complex of the Lower Don in current climatic conditions. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. V. 93. № 12. Pp. 1145-1150.

11. Slabunova A. V. Current state of the system of environmental monitoring in the aspect of assessing diffuse pollution of water objects. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. № 4 (40). Pp. 103-121.

12. Skripka G. I., et al. Monitoring of erosion processes of the water protection zone of the Tsimlyansk reservoir with the help of a software and hardware complex. Proceedings of Higher Educational Institutions. North Caucasus region. Science. 2019. № 3 (203). Pp. 80-87.

13. Dedova E. B. Technology of using mineralized water for watering fodder crops. Agrarian science. 2022. № 1. Pp. 114-117.

14. Shevchenko V. A., Maksimenko V. P., Kudryavtseva L. V. Application of water with increased salt content for irrigation. Bulletin of the Russian Agricultural Science of the Russian Academy of Sciences. 2018. № 6. Pp. 84-86.

15. Yasinskii S. V., Venitsianov E. V., Vishnevskaya I. A. Diffuse pollution of water bodies and estimation of export of biogenic elements under different scenarios of water use in the watershed. Water Resources. 2019. V. 46. Pp. 266-277.

16. Frolova M. V., Komarova O. P., Moskovets M. V. Modern biotechnology in improving the water quality of open reservoirs of multi-purpose purposes. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. № 4 (52). Pp. 213-218.

17. Gorokhova I. N., Pankova E. I. Methodological approaches to the assessment of the state of irrigated lands of the dry steppe zone of the Volgograd region with the use of space images. Ecosystems: Ecology and Dynamics. 2023. № 1. Pp. 5-37.

18. Semenenko S. Ya., Novikov A. E. Indicators of the reclamation state of irrigated lands of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 1 (69). P.115-120.

19. Factors of Soil Fertility Stabilization in Irrigated Crop Rotations with Different Ratios in the Structure of Fodder Crops. Irrigated agriculture. 2019. № 1. Pp. 24-27.

Информация об авторах

Комарова Ольга Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID 0000-0001-9129-69326 e-mail: komarova62@rambler.ru

Тихонова Маргарита Константиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID 0000-0002-8798-0296, e-mail: margarita.tikhonova.73@mail.ru

Московец Мария Васильевна, научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID 0000-0003-1997-63-13, e-mail: vnioz-algo@yandex.ru

Торопов Алексей Юрьевич, научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID 0000-0002-8798-0296, e-mail: vnioz-algo@yandex.ru

Authors' Information

Komarova Olga Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva str., 9), ORCID 0000-0001-9129-6932, e-mail: komarova62@rambler.ru

Tikhonova Margarita Konstantinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva str., 9), ORCID 0000-0002-8798-0296, e-mail: margarita.tikhonova.73@mail.ru

Moskovets Maria Vasilyevna, Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva str., 9), ORCID 0000-0003-1997-63-13, e-mail: vnioz-algo@yandex.ru

Toropov Aleksey Yuryevich, Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva str., 9), ORCID 0000-0002-8798-0296, e-mail: vnioz-algo@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-14

THE PRODUCTIVITY OF OILSEED CROPS AGROPHYTOCENOSIS IN THE RICE CROP ROTATIONS OF KALMYKIA

Konieva G. N., Aduchieva M. G.

*Kalmyk Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation"
Elista, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: konieva.g@yandex.ru

Received 24.01.2025

Submitted 05.05.2025

Summary

In the arid climate of the Republic of Kalmykia, it is possible to grow annual oilseeds accompanying crops on the moisture remaining after rice. At the same time, the crops effectively consume all available moisture resources in rice paddies, which helps to obtain maximum crop productivity.

Abstract

Introduction. Implementation of a set of measures aimed at the efficient use of land resources to achieve maximum productivity in agricultural production is one of the most important tasks for agriculture in the Republic of Kalmykia. Rational planning of crop rotation for rice fields involves careful selection of predecessors that have a beneficial effect on rice yield. **Object.** Such crop rotations include an agro-ameliorative field in which, in addition to melioration work (planning checks, cleaning canals, repairing hydraulic structures), annual oil crops are grown that can produce high yields without additional irrigation, effectively using the residual moisture after rice harvesting (280-320 mm). At the same time, they have phytomeliorative properties, improving the soil structure and its fertility. **Materials and methods.** Soils after rice harvesting are characterized by high humidity and a slow drying process. Agrotechnical measures within the framework of crop rotation with rice include soil cultivation aimed at improving its physical properties, as well as maximum drainage and aeration of the arable layer. This helps to activate oxidation processes and completely eliminate the consequences associated with the accumulation of oxide compounds. **Results and conclusions.** In the period from 2022 to 2024, an analysis of the relationship between the productivity of oilseeds and the temperature regime, as well as the amount of precipitation during the growing season, was carried out. Field germination of oilseeds was high and ranged from 67 to 83 %. By the time of sowing, the moisture level in the meter-deep soil layer was within 3010...3300 m³ / ha (80-91 % of HB). Due to the developed root system, oilseeds are able to extract moisture and nutrients from the entire volume of soil available to the roots during the growth process. When technological requirements for cultivating crops on agro-ameliorative fields are met, relatively high yields of oilseeds are achieved (spring rape – 1.49...2.04 t / ha, Sarepta mustard – 1.41...1.86 t / ha, and sunflower – 1.16...1.85 t / ha). Plowing in plant residues of accompanying crops ensures an increase in soil fertility, increasing rice yields to 4.0...5.1 t / ha.

Keywords: oilseeds, yield of oilseeds, rice crop rotations, soil-forming processes.

Citation: Konieva G. N., Aduchieva M. G. The productivity of oilseed crops agrophytocenosis in the rice crop rotations of Kalmykia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 133-141 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-14.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation, or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

УДК 633.18.631.584.4 (470.47)

ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В РИСОВЫХ СЕВООБОРОТАХ КАЛМЫКИИ

**Кониева Г. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Адучиева М. Г., аспирант, научный сотрудник**

*Калмыцкий филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Элиста, Российская Федерация*

Актуальность. Реализация комплекса мероприятий, направленных на эффективное использование земельных ресурсов для достижения максимальной продуктивности в производстве сельскохозяйственной продукции, является одной из важнейших задач для сельского хозяйства Респу-

лики Калмыкия. Рациональное планирование севооборота для рисовых полей предполагает тщательный отбор предшественников, которые благотворно влияют на урожайность риса. **Объект.** В состав таких севооборотов включается агромелиоративное поле, в котором, помимо проведения мелиоративных работ (планировка чеков, очистка каналов, ремонт гидротехнических сооружений), возделываются однолетние масличные культуры, способные давать высокие урожаи без дополнительного полива, эффективно используя остаточную влагу после уборки риса (280-320 мм). При этом они обладают фитомелиоративными свойствами, улучшая структуру почвы и её плодородие. **Материалы и методы.** Почвы после сбора урожая риса характеризуются повышенной влажностью и медленным процессом высыхания. Агротехнические мероприятия в рамках севооборота с рисом предусматривают обработку почвы, направленную на улучшение ее физических свойств, а также максимальное осушение и аэрацию пахотного слоя. Это способствует активизации окислительных процессов и полному устранению последствий, связанных с накоплением закисных соединений. **Результаты и выводы.** В период с 2022 по 2024 годы был осуществлен анализ взаимосвязи между продуктивностью масличных культур и температурным режимом, а также количеством атмосферных осадков в течение вегетационного периода. Полевая всхожесть семян масличных культур была высокой и колебалась от 67 до 83 %. К моменту посева уровень влаги в метровом слое почвы находился в пределах 3010...3300 м³/га (80-91 % НВ). Благодаря развитой корневой системе, масличные культуры в процессе роста способны извлекать влагу и питательные вещества из всего объема почвы, доступного для корней. При соблюдении технологических требований к возделыванию культур на агромелиоративных полях достигаются относительно высокие урожаи маслосемян (яровой рапс – 1,49...2,04 т/га, горчица сарептская – 1,41...1,86 т/га, а подсолнечник – 1,16...1,85 т/га). Запашивание растительных остатков сопутствующих культур обеспечивает повышение показателей плодородия почв, увеличивая урожайность риса до 4,0...5,1 т/га.

Ключевые слова: масличные культуры, урожайность масличных культур, рисовые севообороты, почвообразовательные процессы.

Цитирование. Кониева Г. Н., Адучиева М. Г. Продуктивность агрофитоценозов масличных культур в рисовых севооборотах Калмыкии. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 133-141. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-14.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства необходим комплексный подход к разработке и внедрению инновационных технологий управления агроэкосистемами. Эти технологии должны быть основаны на биологических принципах, способствовать рациональному использованию ресурсов и обеспечивать экологическую безопасность. Внедрение таких технологий позволит восстановить плодородие почв, создать высокопроизводительные агроценозы и агроэкосистемы, а также получать экономически эффективные урожаи с заданными качественными характеристиками [1, 2, 3].

Почвы рисовых полей обладают специфическими особенностями, обусловленными уникальным почвообразовательным процессом. Этот процесс формируется под воздействием периодического затопления почвы во время выращивания риса, применения высоких доз минеральных удобрений в комплексе с пестицидами для борьбы с сорняками, болезнями и вредителями. Это приводит к увеличению образования вредных соединений, таких как сероводород и соединения железа, а также к снижению численности и активности аэробных микроорганизмов. После отведения воды с чеков происходит последующее просушивание почвы, что также способствует уменьшению количества органических соединений. В значительной степени это относится к тяжелосуглинистым полупустынным почвам рисовых полей Сарпинской низменности, характеризующейся невысоким естественным плодородием вследствие неблагоприятных физико-химических свойств и аридизации климата в регионе. В рамках рационального планирования севооборота для риса крайне важно выбирать оптимальных предшественников. Структура севооборота должна включать агромелиоративное поле, где помимо проведения мелиоративных работ (планировка чеков, очистка каналов, ремонт гидротехнических сооружений), также возделываются высококорентабельные культуры, не требующие дополнительного орошения. Эти сопутствующие культуры, используя остаточные запасы влаги после риса (280-320 мм), способны давать высокие урожаи и обладают фитомелиоративными свойствами [4, 5, 6, 7].

Оптимальный выбор предшественников в сочетании с соответствующими агротехническими мерами способствует восстановлению плодородия почвы, увеличению урожайности как риса, так и сопутствующих культур, тем самым влияя на продуктивность всей сельскохозяйственной ротации. В этой связи понимание закономерностей изменения показателей пло-

дородия почвы в контексте современных условий сельского хозяйства становится важным для научно обоснованного принятия решений о регулировании её плодородия и использовании удобрений. Увеличивающийся дефицит водных ресурсов открывает новые возможности для более экономичного выращивания сопутствующих культур с использованием влаги, оставшейся после уборки риса. Это позволяет существенно повысить продуктивность орошаемого гектара и эффективность применения фитомелиорантов [8, 9, 10, 11, 12].

Цель исследования. Исследование было направлено на изучение возможности использования различных видов масличных культур в составе севооборота риса с целью увеличения производства маслосемян и повышения урожайности основной культуры.

Материал и методика исследований. В ходе исследования в рамках севооборотов риса были изучены 6 видов масличных культур: подсолнечник, сафлор, горчица, рапс, рыжик, лен. Полевые опыты проводились на территории АО «50 лет Октября» и ООО «Возрождение», расположенных в Октябрьском районе Республики Калмыкия (полупустынная зона). Почвы экспериментального участка представлены бурыми полупустынными малогумусными средне- и тяжелосуглинистыми почвами, характеризующимися различной степенью засоления (от слабого до сильного) хлоридно-сульфатным типом. Содержание легкорастворимых солей в слое 0-1,0 м варьировалось от 0,100 % до 1,200 %.

Посев масличных культур осуществлялся с применением высококачественных семян на вспаханной зяби после уборки риса, с учётом физической спелости почвы и многолетних оптимальных сроков посева для данного региона (II-III декада апреля), а также остаточной влаги после предшествующей культуры. В ходе посева вносились минеральные удобрения в дозировках, рассчитанных балансовым методом с учётом прогнозируемого урожая ($N_{70}P_{40}...N_{120}P_{60}$). Полевые опыты проводились на делянках площадью 225 м², с четырёхкратной повторностью и случайным размещением.

Анализ погодных условий за вегетационные периоды масличных культур был проведен на основе данных метеостанции «Малые Дербеты». Была проведена оценка взаимосвязи между урожайностью культур и температурным режимом, а также суммой атмосферных осадков в течение всего вегетационного периода за период с 2022 по 2024 годы [13].

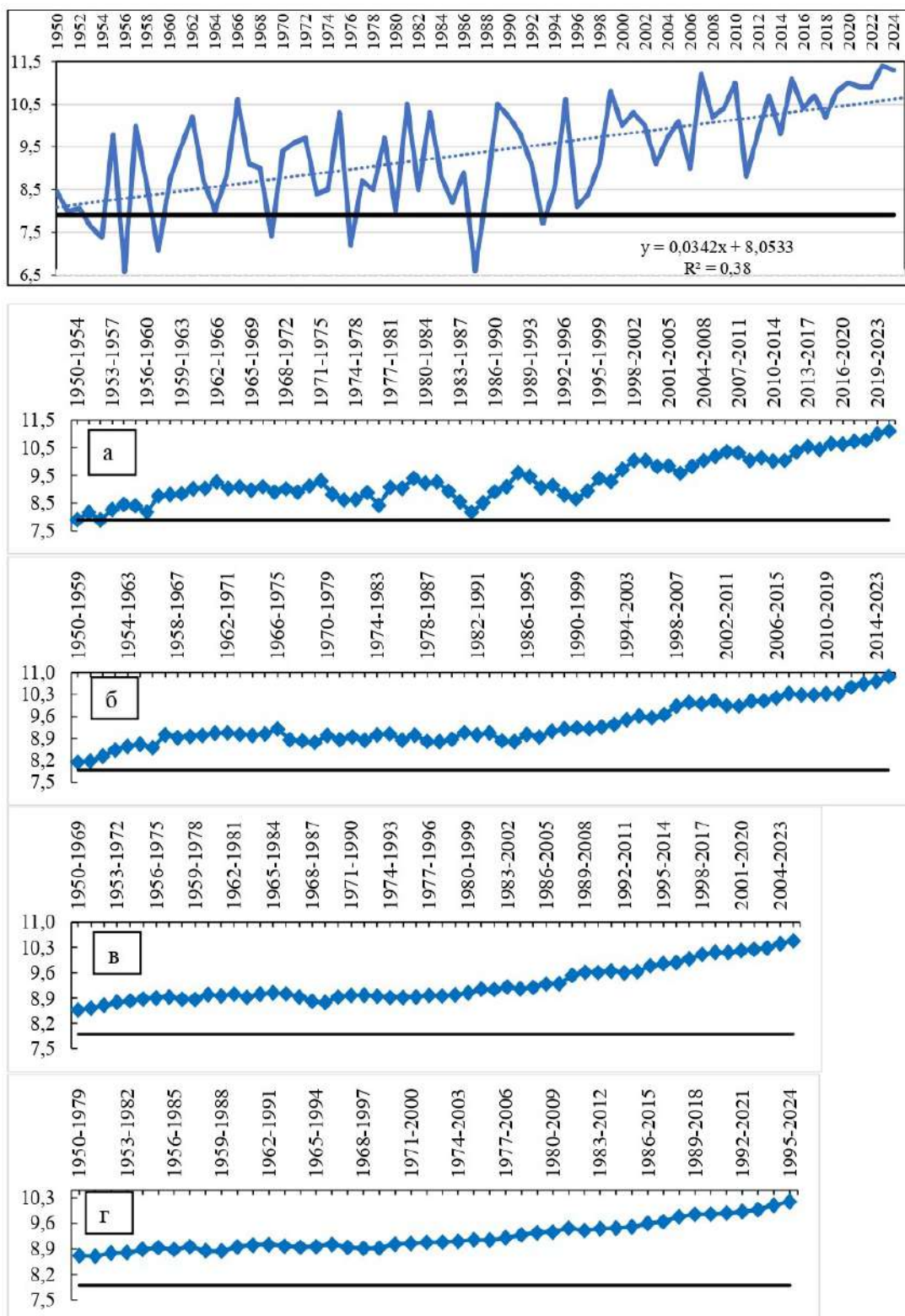
Результаты исследований. Проведенные исследования подтверждают, что климатические и почвенные условия Республики Калмыкия благоприятствуют выращиванию однолетних сопутствующих культур в системе севооборота с рисом на остаточной влаге. Показатели полевой всхожести семян масличных культур оказались высокими, колеблясь в пределах от 67 % до 83 %. При внесении минеральных удобрений наблюдался прирост всхожести на 1,4-1,9 % по сравнению с контрольной группой.

Анализ данных метеорологической станции «Малые Дербеты» (рисунок 1) свидетельствует о наличии четко выраженных периодов в изменении многолетней средней температуры воздуха. Значения средней годовой температуры варьируются от 6,6 в 1956 и 1987 годах до 11,4 °C в 2023 году. Кроме того, на рисунке представлены кривые скользящих средних годовых температур: пятилетние ($m = 5$), десятилетние ($m = 10$), тридцатилетние ($m = 30$).

На графиках скользящих пятилетних (б) средних температурных значений отчетливо проявляются как теплые, так и холодные пятилетки, а также более продолжительные колебания. В период с 1950 по 1998 годы было зафиксировано самое холодное пятилетие (7,9 °C – 1950-1954 гг.), самое теплое пятилетие составило 9,6 °C в 1988-1992 гг. В дальнейшем температуры начали повышаться и оставались всегда выше нормы.

Кроме явного увеличения на протяжении нескольких десятилетий, средняя температура также показывает значительную изменчивость как в рамках десятилетий, так и на межгодовом уровне. На графике, отображающем 10-летние средние значения (в), изменения температур выглядят еще более упорядоченными. В свою очередь, на 20- и 30-летних средних (г) отчетливо наблюдается тенденция к стабильному росту годовых температур с 1980 по 2024 годы в среднем на 1,45 °C.

Количество выпавших атмосферных осадков в течение вегетационного периода 2022 года составило 138,2 мм, что незначительно превысило многолетнюю норму (130 мм) на 6,3 %. В 2023 году наблюдалось максимальное количество осадков, за вегетационный период с апреля по август выпало 198,8 мм осадков, что на 52,9 % (68,8 мм) больше многолетней средней величины. Самым засушливым был 2024 год, с уровнем атмосферных осадков на 31,8 % ниже многолетней нормы.



Примечание: скользящие средние: 5-летние (а), 10-летние (б), 20-летние (в), 30-летние (г)
Note: Moving averages: 5-year (a), 10-year (b), 20-year (c), 30-year (d)
Рисунок 1 – Средняя годовая температуры воздуха за 1950-2024 гг. и их скользящие средние по м. М. Дербеты
Figure 1 – Average annual air temperature for 1950-2024 and their moving averages for m. M. Derbyty

Уровень влажности почвы на момент посева в период с 2022 по 2024 годы находился в пределах от 3010 до 3300 м³/га в метровом слое почвы, что соответствует 80-91 % от полной влагоемкости. Масличные культуры, благодаря развитой корневой системе, способны усваивать влагу и питательные вещества из всего корнеобитаемого слоя. Запасы влаги на глубине более одного метра существенно выше, и в критические периоды развития растений, такие как цветение и формирование семян, посевы масличных культур активно ее используют, потребляя от 1100 до 1900 м³/га, что составляет 30-50 % от общего объема потребляемой воды.

Аномалии температуры и осадков представляют собой отклонения фактических значений от средних норм. На верхнем и нижнем графиках отображены аномалии температур и количества осадков соответственно за каждый месяц в течение исследуемых лет. Аномалия указывает на то, насколько значение превышает или ниже среднего. В отношении температуры месяцы, обозначенные красным, были теплее, а синие – холоднее нормы. С течением времени наблюдается увеличение числа теплых месяцев, что свидетельствует о глобальном потеплении, вызванном изменениями климата. На нижнем графике месяцы, окрашенные в зеленый, были более влажными, в то время как коричневые – более сухими, чем обычно (рисунок 2).

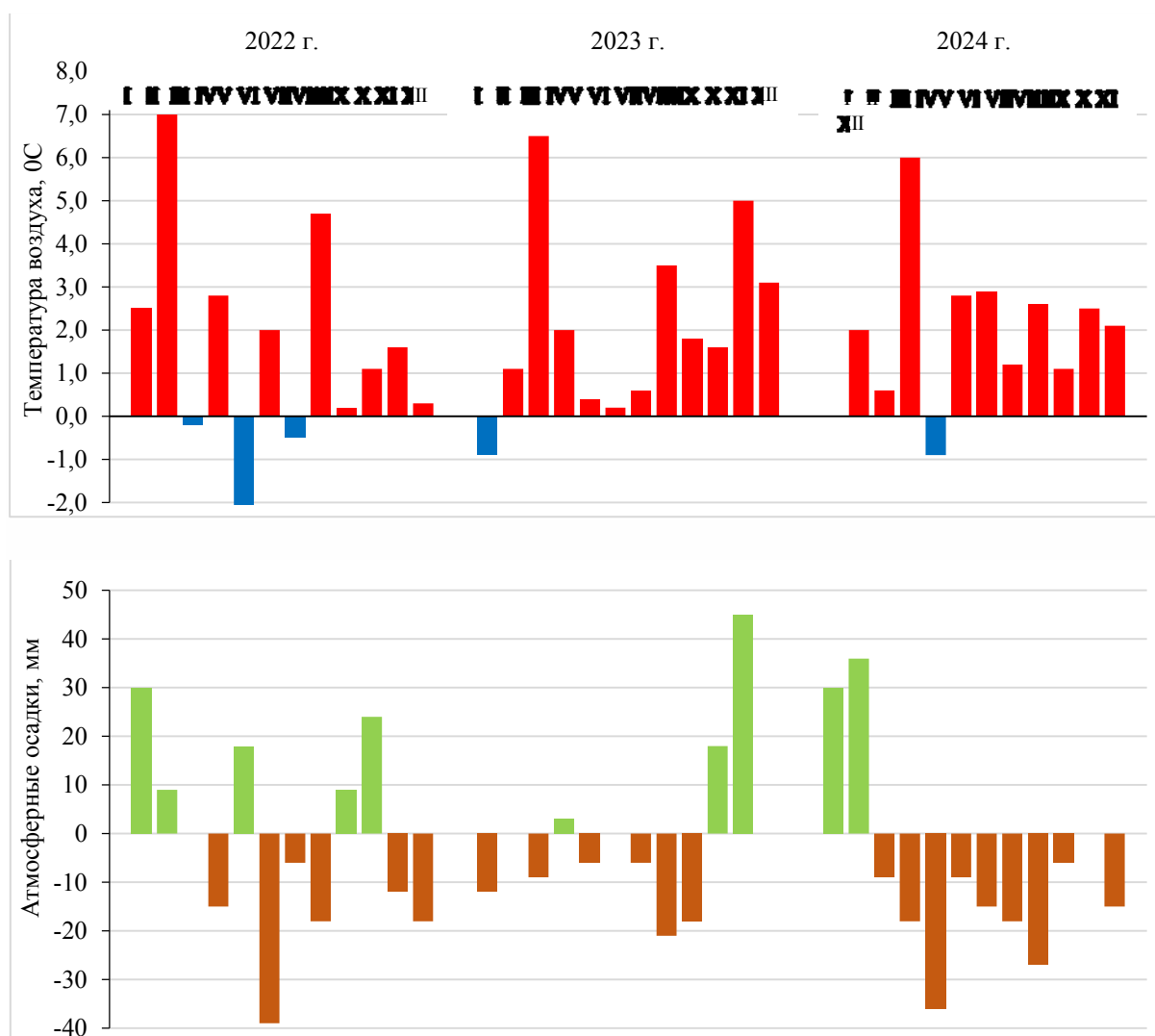


Рисунок 2 – Аномалии температуры воздуха и атмосферных осадков
(апрель-август) по метеостанции Малые Дербеты

Figure 2 – Anomalies of air temperature and precipitation (April-August) at the Malye Derbety weather station

При культивировании масличных растений решающее значение имеют следующие факторы: продолжительность вегетативного цикла, адаптационные возможности растений к неблагоприятным температурным режимам и уровням влажности, а также их устойчивость к вредителям, патогенам и сорной растительности. Короткий вегетационный период существенно минимизирует риск недополучения урожая семян (рисунок 3).

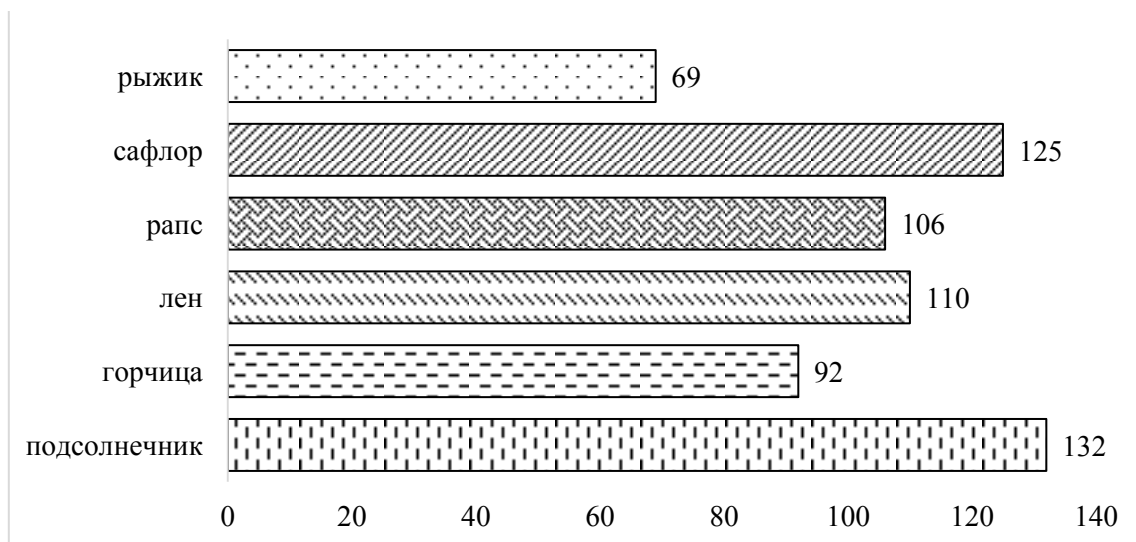


Рисунок 3 – Средняя продолжительность вегетационного периода масличных культур в рисовых севооборотах Калмыкии (2022-2024 гг.)

Figure 3 – Average duration of the growing season of oilseeds in rice crop rotations in Kalmykia (2022-2024)

В 2023 году при благоприятных метеоусловиях, характеризующихся равномерным распределением осадков (198,8 мм) в течение всего вегетационного периода, максимальная урожайность подсолнечника составила $1,85 \pm 0,08$ т/га. В 2024 году резкое уменьшение количества осадков в период формирования корзинок и цветения привело к возникновению сильной засухи. В результате наблюдалось значительное увядание листовой поверхности растений, а развитие семян происходило преимущественно за счет стебля и обертки корзинок. Это явление обусловило снижение урожайности до $1,16 \pm 0,13$ т/га (таблица 1).

Исследования показали, что некоторые масличные культуры демонстрируют повышенную устойчивость к засухе. К ним относятся сарептская горчица, урожайность которой в ходе исследования колебалась от 1,41 до 1,86 т/га, яровой рыжик ($0,84 \dots 1,18$ т/га) и красильный сафлор ($1,24 \dots 1,58$ т/га). Высокая адаптивность этих культур подтверждается их способностью стабильно обеспечивать высокие урожаи маслосемян даже в условиях неблагоприятной метеорологической обстановки ($НСП_{05} = 0,11 \dots 0,17$ т/га). При внесении рассчитанных норм азотно-фосфорных удобрений с учетом прогнозируемой урожайности маслосемян наблюдался прирост урожая в среднем за весь период исследований на $0,30 \dots 0,85$ т/га, что составляет 43...75 % по сравнению с контролем (без внесения удобрений).

Исследование взаимосвязи урожайности яровых масличных культур с неконтролируемыми природными факторами посредством корреляционно-регрессионного анализа показало отсутствие существенной зависимости между урожайностью и температурой воздуха в течение вегетационного периода. В то же время, установлена сильная прямая линейная корреляция между урожайностью семян масличных культур и суммарным количеством атмосферных осадков, выпавших в период вегетации (коэффициент корреляции находится в диапазоне от 0,45 до 0,89).

Масличные культуры, интенсивно иссушая почву на рисовых полях, улучшают ее кислородный режим, а одновременно значительно обогащают и органическим веществом. Растения способствуют обогащению почвы не только через корневую систему, но и за счет опада и пожнивных остатков (до $3,0 \dots 3,5$ т/га), что способствует увеличению биологической активности почвы и улучшению доступности основных элементов питания для растений риса.

Таблица 1 – Урожайность семян масличных культур по годам исследований, т/га
Table 1 – Yield of oilseeds by years of research, t/ha

Культуры / Oilseeds	Годы исследований / Years of research			Средняя за годы исследований / Average for years of research
	2022	2023	2024	
Подсолнечник / Sunflower (<i>Helianthus annuus</i>)	1,44±0,12	1,85±0,08	1,16±0,13	1,48
Горчица сарептская / Sarepta mustard (<i>Brassica juncea</i>)	1,58±0,08	1,96±0,09	1,41±0,12	1,65
Лен масличный / Oil flax (<i>Linum usitatissimum</i>)	1,89±0,06	2,04±0,05	1,49±0,10	1,81
Рапс яровой / Spring rapeseed (<i>Brassica napus</i>)	1,78±0,07	2,05±0,06	1,40±0,09	1,74
Сафлор красильный / Dyeing safflower (<i>Carthamus tinctorius</i>)	1,26±0,05	1,58±0,04	1,24±0,12	1,36
Рыжик яровой / Spring camelina (<i>Camelina sativa</i>)	1,07±0,09	1,18±0,04	0,84±0,14	1,03
HCR ₀₅	0,17	0,11	0,16	

Внедрение в рисоводстве севооборота с включением «агромелиоративного клина» положительно сказывается на основных гидрофизических свойствах почвы. Так, наблюдается увеличение общей пористости на 5-7 % и пористости аэрации на 9-12 % по сравнению с монокультурой риса. Плотность почвы в звене севооборота «рис – агромелиоративное поле» снижается на 9-11 %. Количество оптимальных для растений агрегатов размером 0,25-10 мм возрастает на 27-29 %, а коэффициент структурности повышается на 0,91-0,94. Таким образом, заделка растительных остатков сопутствующих культур в поверхностный слой почвы способствует усилению окислительно-восстановительных процессов, улучшает доступность питательных веществ для риса, создает более благоприятные условия для их усвоения и способствует структурированию пахотного слоя. Изучаемые однолетние культуры характеризуются коротким вегетационным периодом и рано освобождают поле, что очень важно для проведения интенсивных обработок рисовых полей, а также выравнивания их поверхности.

Однолетние сопутствующие культуры, используемые в севообороте риса, эффективно способствуют снижению уровня грунтовых вод. Благодаря развитой корневой системе, проникающей на значительную глубину, эти культуры поглощают воду из нижних слоев почвы. В результате такого воздействия уровень грунтовых вод понижается до 1,4-2,0 метров, что прерывает капиллярный подъем солевых растворов к поверхности почвы и предотвращает вторичное засоление.

Мелиоративные культуры являются действенным методом борьбы с краснотерными сорными формами риса. При вспашке остатков мелиорантов в почву попадают биологически активные вещества с сильной аллелопатичной активностью. Эти соединения блокируют прорастание семян сорняков непосредственно в почве, что способствует эффективному контролю их распространения. Всходы, которые все же появляются, скашиваются вместе с пожнивными остатками до того, как метелки успевают вырасти и дать потомство. Исследования показали, что в рисовых севооборотах, где выращивались однолетние масличные культуры, количество сорняков сократилось до 4-10 шт./м², что на 31-36 шт./м² меньше по сравнению с первоначальными данными. Включение масличных культур в систему рисового севооборота (рис-агромелиоративное поле-рис положительно влияет на продуктивность основной культуры – риса, увеличивая его урожайность до 4,0-5,1 т/га.

Выводы. Исследования, проведенные в полупустынной зоне Республики Калмыкия, подтверждают возможность выращивания однолетних сопутствующих культур. Это открывает возможности для диверсификации сельского хозяйства и обеспечения стабильного производства сельскохозяйственной продукции. Масличные культуры, используемые в качестве сопутствующих, эффективно потребляют всю доступную влагу в рисовых чеках, что способствует формированию продуктивных посевов.

Корневые системы масличных культур оказывают значительное влияние на структуру бурых тяжелосуглинистых почв рисовых полей, способствуя разуплотнению пахотного и подпахотного слоев. В результате коэффициент структурности почвы увеличивается (с 0,81 до 1,72), а плотность сложения почвы уменьшается (с 1,32 до 1,23 т/м³). Выращивание культур-мелиорантов способствует улучшению фитосанитарных условий в системе рисового севооборота, а также повышает плодородие почв, увеличивая урожайность риса до 4,0...5,1 т/га.

Conclusions. The conducted research shows that in the conditions of the semi-desert zone of the Republic of Kalmykia, annual accompanying crops can be cultivated, with the help of which it is possible to solve the issues of crop diversification and ensure stable production of agricultural products. To form the most productive crops, associated oilseeds use almost all the moisture resources available to plants in rice paddies.

The formation of the structure of brown heavy loamy soils of rice fields and its agronomically valuable aggregates is greatly influenced by the root systems of oilseeds, which during the growing season contribute to the decompression of arable and sub-arable soil layers: the coefficient of soil structure increased from 0.81 to 1.72, and the density decreased from 1.32 to 1.23 t/m³. Cultivation of meliorant crops improves phytosanitary conditions in the rice crop rotation system, and also increases soil fertility, increasing rice yields to 4.0...5.1 t/ha.

Библиографический список

1. Dedova E. B., Konieva G. N. Agroecological assessment of rice crop rotation soils of the Sarpinskaya low-land Russian Agricultural Sciences. 2019. V. 45. No. 2. Pp. 154-159.
2. Исаева С. Д., Дедова Э. Б., Матвеев А. В. и др. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом. К 100-летию Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. Москва, 2024. 204 с.
3. Шевченко В. А., Дедова Э. Б., Шамсудинов Н. З. и др. Агро-мелиоративные приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий: монография. Москва, 2022. 205 с.
4. Кониева Г. Н., Иванова В. И., Адучиева М. Г. Анализ изменений основных климатических показателей на территории Республики Калмыкия за многолетний период. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 177-184.
5. Байкалова Р. П., Бобровский А. В., Крючков А. А. Влияние минеральных удобрений и средств защиты растений на элементы структуры и урожайность ярового рапса. Вестник КрасГАУ. 2020. № 3 (156). С. 3-10.
6. Пугачев П. М. Рапс: итоги, реалии, перспективы. Комбикорма. 2020. № 3. С. 2-4.
7. Шпанев А. М., Смур В. В. Влияние абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (3). С. 351-359.
8. Шарко Е. Р. Влияния изменений климата на сельское хозяйство в регионах Российской Федерации. Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 1. С. 11-24.
9. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A. On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term. Studies on Russian Economic Development. 2020. N. 31. No. 3. Pp. 304-311.
10. Тишков Н. М. Урожайность масличных культур и пшеницы озимой в зависимости от содержания в чернозёме выщелоченном подвижных форм азота, фосфора и калия в стационарном полевом опыте ВНИИМК. Масличные культуры. 2024. Выпуск 1 (197). С. 45-62.
11. Трубина В. С., Сердюк О. А., Горлова Л. А. Экологическая стабильность и пластичность сортов горчицы сарептской яровой селекции ВНИИМК. Масличные культуры. 2024. Выпуск 1 (197). С. 40-44.
12. Макарская Е. Ю., Кривошлыков К. М. Тенденции развития рынка масличных культур и основные меры государственной поддержки отечественной селекции в современных геополитических условиях. Масличные культуры. 2024. Выпуск 2 (198). С. 108-113.
13. Кониева Г. Н., Очиров В. В., Шабанов Р. М. Оптимизация продуктивности гибридов подсолнечника с применением различных доз минеральных удобрений в рисовых чеках Калмыкии. АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. № 1 (43).

References

1. Dedova E. B., Konieva G. N. Agroecological assessment of rice crop rotation soils of the sarpinskaya low-land Russian Agricultural Sciences. 2019. V. 45. No. 2. Pp. 154-159.
2. Isaeva S. D., Dedova E. B., Matveev A. V. et al. An intelligent decision support system for managing the reclamation and water management complex. Dedicated to the 100th anniversary of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov. Moscow, 2024. 204 p.
3. Shevchenko V. A., Dedova E. B., Shamsudinov N. Z. et al. Agro-reclamation techniques for restoring the fertility of degraded and decommissioned agricultural lands and pasture territories: monograph. Moscow, 2022. 205 p.
4. Konieva G. N., Ivanova V. I., Aduchieva M. G. Analysis of changes in the main climatic indicators in the territory of the Republic of Kalmykia over a long period of time. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No. 2 (70). Pp. 177-184.
5. Baykalova R. P., Bobrovsky A. V., Kryuchkov A. A. The influence of mineral fertilizers and plant protection products on the structural elements and yield of spring rapeseed. Bulletin of KrasGAU. 2020. No. 3 (156). Pp. 3-10.
6. Pugachev P. M. Rapeseed: results, realities, prospects. Compound feed. 2020. No. 3. Pp. 2-4.
7. Shpanev A. M., Smuk V. V. The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of spring rapeseed yields in the North-West of the Russian Federation. Agricultural science of the Euro-North-East. 2022. No. 23 (3). Pp. 351-359.

8. Sharko E. R. The impact of climate change on agriculture in the regions of the Russian Federation. Theoretical and applied economics. 2022. No. 1. Pp. 11-24.
9. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A. On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term. Studies on Russian Economic Development. 2020. N. 31. No. 3. Pp. 304-311.
10. Tishkov N.M. The yield of oilseeds and winter wheat depending on the content of mobile forms of nitrogen, phosphorus and potassium in leached chernozem in a stationary field experiment of VNIIMK. Oilseed crops. 2024. I. 1 (197). Pp. 45-62.
11. Trubina V.S., Serdyuk O.A., Gorlova L.A. Ecological stability and plasticity of mustard varieties of the Sarepta spring breeding of VNIIMK. Oilseed crops. 2024. I. 1 (197). Pp. 40-44.
12. Makarskaya E. Y., Krivoshlykov K. M. Trends in the development of the oilseed crop market and the main measures of state support for domestic breeding in modern geopolitical conditions. Oilseed crops. 2024. I. 2 (198). Pp. 108-113.
13. Konieva G. N., Ochirov V. V., Shabanov R. M. Optimization of sunflower hybrid productivity using different doses of mineral fertilizers in rice paddies of Kalmykia. AgroEcoInfo: Electronic scientific and production journal. 2021. No. 1 (43).

Информация об авторах

Кониева Галина Нагашевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Калмыцкий филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (Российская Федерация, 358011, Калмыкия, г. Элиста, пл. Городовикова, 1), ORCID: 0000-0002-6965-5967, e-mail: konieva.g@yandex.ru

Адучиева Марианна Грачевна, аспирант, младший научный сотрудник, Калмыцкий филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (Российская Федерация, 358011, Калмыкия, г. Элиста, пл. Городовикова, 1), ORCID: 0000-0002-7818-4984, тел. 8(84722) 38347, e-mail: marianna.zakarian@ mail.ru

Authors' Information

Konieva Galina Nagashevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, the Kalmyk Branch of the A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 358011, Kalmykia, Elista, Gorodovikov Square, 1), ORCID: 0000-0002-6965-5967, e-mail: konieva.g@yandex.ru

Aduchieva Marianna Grachevna, postgraduate student, Junior Researcher, the Kalmyk Branch of the A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 358011, Kalmykia, Elista, Gorodovikov Square, 1), ORCID: 0000-0002-7818-4984, e-mail: marianna.zakarian@ mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-15

GRAPE VARIETIES OF THE INTERSPECIFIC ORIGIN IN THE UNSTABLE WEATHER CONDITIONS OF THE LOWER DON REGION

Naumova L. G., Ganich V. A.

«All-Russian Research Ya. I. Potapenko Institute for Viticulture and Winemaking» – the branch of the Federal
Rostov Agricultural Research Center
Novocherkassk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: LGnaumova@yandex.ru

Received 21.02.2025

Submitted 17.04.2025

The research was carried out within the framework of the research topic No. FNFZ-2024-0008 «Preservation and replenishment of the Don ampelographic collection. Study of the adaptive, biological and technological potential of introduced and autochthonous grape varieties in order to identify valuable genotypes for their inclusion in breeding and production processes».

Summary

The article presents the results of a 3-year study of 7 grape varieties of different interspecific cross (hybrids with *Vitis amurensis* Rupr., *Vitis labrusca* L., SV 23-657) in contrasting meteorological conditions of the Lower Don region.

Abstract

Introduction. Global warming is a significant factor for viticulture and winemaking in all wine-growing regions of the world. In the context of global climate change, the problem of studying and selecting grape varieties corresponding to modern conditions of the biosphere has arisen. The aim of the study was the response of grape plants of different interspecific origin to natural factors of the growing environment in the Lower Don region. **Materials and methods.** The study of grape varieties was carried out at the Don Ampelographic Collection named after Ya. I. Potapenko (Novocherkassk, Rostov Region). The object of the study was grape varieties of interspecific origin: Anushayut, Zovuni, Lusakert (created using the grape species *Vitis amurensis* Rupr.); Isabella, New York Muscat, Steuben (created using the species *Vitis labrusca* L.); Grushevsky Belyi (a complex interspecific hybrid with *Vitis amurensis* Rupr. and SV 23-657). The varieties were studied using generally accepted viticulture methods and GOSTs. **Results and discussion.** The data on meteorological conditions in 2022-2024, indicators of agrobiological productivity and crop quality are presented and analyzed. The studied non-covering varieties responded differently to winter weather conditions. When comparing the obtained average data, hybrid varieties with *Vitis labrusca* L. had higher wintering and fruitfulness rates compared to hybrid varieties with *Vitis amurensis* Rupr. and with a variety of complex interspecific origin. Almost all varieties (except for the Anushayut variety) had the highest fruiting coefficient in 2024. Also, all studied varieties in 2024 had the lowest average bunch weight, which is explained by a very

dry growing season. **Conclusions.** The highest productivity and estimated yield were in 2022 for the varieties: Anushayut, Isabella, New York Muscat, in 2023 for the varieties: Lusakert, Steuben and Grushevsky Belyj, in 2024 – Zovuni. On average, over 3 years, the highest estimated yield was for the varieties Isabella (169 c/ha), Lusakert and Steuben (167 c/ha).

Keywords: grape varieties, ampelographic collections, interspecific grape varieties, Lower Don region, grape variety study, conditions of grape cultivation.

Citation. Naumova L. G., Ganich V. A. Grape varieties of the interspecific origin in the unstable weather conditions of the Lower Don region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 141-151 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-15.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 634.853:634.852(470.61)

СОРТА ВИНОГРАДА МЕЖВИДОВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В НЕСТАБИЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПРИДОНЬЯ

Наумова Л. Г., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Ганич В. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия
имени Я. И. Потапенко – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный Ростовский аграрный научный центр»
г. Новочеркасск, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках тематики НИР № FNFZ-2024-0008 «Сохранение и пополнение Донской ампелографической коллекции. Изучение адаптивного, биологического и технологического потенциала интродуцированных и автохтонных сортов винограда с целью выделения ценных генотипов для включения их в селекционный и производственный процессы».

Актуальность. Потепление климата – существенный фактор для виноградарства и виноделия всех виноградарских районов мира. В условиях глобального изменения климата возникла проблема изучения и выделения сортов винограда, соответствующих современным условиям биосферы. Цель исследования – реакция растений винограда различного межвидового происхождения на природные факторы среды произрастания в Нижнем Придонье. **Материалы и методы.** Изучение сортов винограда проведено на Донской ампелографической коллекции им. Я. И. Потапенко (г. Новочеркасск, Ростовская область). Объект исследований – сорта винограда межвидового происхождения: Анушают, Зовуни, Лусакерт (созданы с использованием винограда вида *Vitis amurensis* Rupr.); Изабелла, Нью-Йорк мускат, Стьюбен (созданы с использованием вида *Vitis labrusca* L.); Грушевский белый (сложный межвидовой гибрид с *Vitis amurensis* Rupr. и СВ 23-657). Изучение сортов проводили по общепринятым в виноградарстве методикам и ГОСТам. **Результаты и обсуждение.** Представлены и проанализированы данные метеорологических условий в 2022-2024 гг., показатели агробиологии, продуктивности и качества урожая. Изучаемые неукрывные сорта по-разному реагировали на зимние погодные условия. При сравнении полученных средних данных сорта-гибриды с *Vitis labrusca* L. имели более высокие показатели перезимовки и плодоносности в сравнении с сортами-гибридами с *Vitis amurensis* Rupr. и с сортом сложного межвидового происхождения. Практически у всех сортов (исключение сорт Анушают) коэффициент плодоношения был самый высокий в 2024 году. Также у всех изучаемых сортов в 2024 году была наименьшая средняя масса грозди, что объясняется очень засушливым вегетационным периодом. Продуктивность и расчетная урожайность наибольшие были в 2022 году у сортов: Анушают, Изабелла, Нью-Йорк мускат, в 2023 году у сортов: Лусакерт, Стьюбен и Грушевский белый, в 2024 году – Зовуни. В среднем за 3 года наибольшая расчетная урожайность была у сортов Изабелла (169 ц/га), Лусакерт и Стьюбен (167 ц/га).

Ключевые слова: сорта винограда, ампелографические коллекции, межвидовые сорта винограда, Нижнее Придонье, сортоизучение винограда, условия возделывания винограда.

Цитирование. Наумова Л. Г., Ганич В. А. Сорта винограда межвидового происхождения в нестабильных погодных условиях Нижнего Придонья. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 141-151. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-15.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для эффективного культивирования растений винограда необходимы благоприятные условия среды произрастания. В период онтогенеза растения испытывают влияние множества природных и антропогенных факторов. Глобальные климатические изменения оказывают значительные воздействия на природные экосистемы и вызывают сдвиг фенологических явлений.

Быстрые темпы глобальных изменений вызывают сдвиги в фенологии видов по всему миру (Walther G. R., Post E., Convey P. et al., 2002, Körner C., Basler D., 2010; Thackeray S. J., Henrys P. A., Hemming D. et al., 2016). Острый интерес представляет степень, в которой различные события смещаются синхронно или нет, иногда создавая сезонные несоответствия и функционально разрушительную асинхронность [1, 2].

Сотрудники МГУ собрали массив данных (более полумиллиона записей за 100 лет наблюдений), который объединили в единую базу в рамках международного проекта «Летопись природы Евразии: крупномасштабный анализ изменяющихся экосистем. Eurasian Chronicle of Nature – Large Scale Analysis of Changing Ecosystems (ECN)». Уникальный набор данных включал 91 биологический таксон и 178 фенологических явлений, наблюдаемых в сети из 472 пунктов мониторинга, разбросанных по странам бывшего Советского Союза. Это позволило международной группе исследователей обнаружить асинхронность адаптации отдельных видов растений к изменениям климата. Авторы отмечают, что то, как растения реагируют, можно описать нормами реакции, т.е. связью между выраженным фенотипом (фенологией события) и окружающей средой (датой, когда достигается заданное количество градусо-дней). Они установили, что географические изменения в фенологии более выражены весной и менее выражены осенью [3].

«Климатический тренд все больше стал находить отражение в различных аспектах жизнедеятельности. Наиболее подверженными климатическим изменениям являются сельскохозяйственные и продовольственные системы. Смещение температурного режима, нарастающее количество и интенсивность неблагоприятных погодных явлений приводят к колебаниям урожайности сельскохозяйственных культур», – так считает М. Е. Кадомцева [4, 5].

Вектор российской государственной политики в области адаптации к последствиям глобальных климатических изменений заложен в Климатической доктрине Российской Федерации, где применительно к сельскому хозяйству выделены не только отрицательные последствия, но и положительные эффекты: «улучшение структуры и расширение зоны растениеводства» [6-9].

Много публикаций посвящено реакции растений на изменения климата. Так, например, Ефимов В. М., Речкин Д. В., Гончаров Н. П. из Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук отмечают: «Изменение климата – определяющая проблема растениеводства XXI века. Агротехнологии будущего в Российской Федерации должны быть связаны с оптимизацией землепользования, которая будет осуществляться как с применением алгоритмов «умного» сельского хозяйства, так и на основе прогноза потенциальных климатических изменений. Это позволит повысить рентабельность и устойчивость производства сельскохозяйственной продукции без дополнительных затрат» [10].

«Потепление климата оказалось существенным фактором для виноградарства и виноделия всех виноградарских районов мира. Многие страны рассматривают продвижение виноградарства на север и в горные районы как возможный путь адаптации к потеплению» – так пишут Новикова Л. Ю. и Озерский П. В. [11].

Анализируя влияние агротехники и климата на сорта винограда, Ганич В. А., Наумова Л. Г., Новикова Л. Ю. пришли к выводу, что «Адаптация к изменению климата более важна для виноградного растения, чем для других культур, так как качество винограда напрямую зависит от места выращивания (терруара) и годовых колебаний метеорологических условий, поэтому большое внимание учеными разных стран уделяется изучению климатических условий и их последствий для виноградарства. Изменение климата может значительно повлиять на сортовой состав во многих винодельческих регионах мира» [12].

Как сказала Е. К. Хлесткина (директор ВИР им. Н. И. Вавилова): «Стратегическая значимость коллекций генетических ресурсов, их сохранения, изучения и использования состоит в обеспечении базиса для научно-технологического развития, повышении конкурентоспособности отечественной науки в сфере развития генетических технологий и в создании практических разработок».

Актуальным в настоящее время остается сохранение и изучение генофонда растительного биоразнообразия, выявление новых и оценка запасов используемых видов – это имеет не только научную, но и практическую значимость.

В условиях глобального изменения климата, проявляющегося в резком повышении температуры воздуха и постоянном увеличении дефицита пресной воды, возникла проблема изучения и выделения сортов винограда, соответствующих современным условиям биосферы.

Цель исследования – реакция растений винограда различного межвидового происхождения на природные факторы среды произрастания в Нижнем Придонуе.

Материалы и методы. Изучение сортов винограда проведено на Донской ампелографической коллекции им. Я. И. Потапенко (г. Новочеркасск, Ростовская область, Россия).

Объект исследований – сорта винограда межвидового происхождения: Анушают, Зовуни, Лусакерт (селекции Армянского НИИВВиП, созданы с использованием винограда вида *Vitis amurensis* Rupr.); Изабелла, Нью-Йорк мускат, Стюбен (сорта американской селекции, созданы с использованием винограда вида *Vitis labrusca* L.); Грушевский белый (селекции ВНИИВВиВ им. Я. И. Потапенко – филиал ФГБНУ ФРАНЦ, Россия, сложный межвидовой гибрид с использованием винограда вида *Vitis amurensis* Rupr. и сорта Сейв Виллар 23-657). В Реестр сортов, допущенных к использованию в РФ, включен сорт Грушевский белый в 1992 г.

Культура ведения кустов – неукрывная, неполивная, привитая (подвой Берландиери × Рипариа Кобер 5 ББ), схема посадки – 3 × 1,5 м. Годы исследований 2022-2024.

Изучение проведено по общепринятым в виноградарстве методикам и ГОСТам (ГОСТ 27198-87, ГОСТ 32114-2013). Метеоданные представлены с метеопоста института (расположенного рядом с коллекцией).

Новочеркасск – город на юго-западе России в Ростовской области, расположен на крутой и обрывистой возвышенности между реками Аксай и Тузлов. Климат умеренно континентальный, летом – избыток тепла и недостаток влаги. Зимы короткие, иногда суровые, отмечаются сильные ветра, оледенение, нестабильный снежный покров и неустойчивые зимние температуры (кратковременно в декабре-январе температура воздуха может подниматься до +18 °С). Почвы – чернозем обыкновенный, гумусовый горизонт до 90 см [13].

Результаты и обсуждение. Для культивирования винограда необходимы благоприятные условия среды произрастания. Годы наблюдений (2022-2024) существенно различались по основным метеорологическим показателям (таблица 1). Средние многолетние данные в таблица 1 приведены по сведениям с метеопоста института за последние 50 лет, исключение составляет «средняя многолетняя продолжительность безморозного периода», которая представлена по литературным данным.

Зимой минимальные температуры воздуха были зарегистрированы на уровне от минус 17,4 до минус 19,8 °С. Сумма отрицательных среднесуточных температур была выше среднемноголетнего значения (на 225 °С в 2022 г., на 144,3 °С в 2023 г., на 191,9 °С в 2024 г.). Средняя температура воздуха в январе была выше среднего многолетнего значения в минус 2,9 °С. Зимнее кратковременное повышение температуры воздуха до +15,2 °С отмечено 3 декабря 2023 г., что выше среднемноголетнего значения в 14,4 °С. Продолжительность безморозного периода составила от 169 дней в 2024 году до 222 дней в 2022 году. Осадков в период покоя выпадало приблизительно одинаковое количество (72-73 % от среднего многолетнего значения).

Зимой 2023-2024 гг. было отмечено обледенение виноградных побегов, толщина льда достигала местами до 2 см и более. В период с 9 по 18 декабря 2023 г. были зафиксированы такие атмосферные явления, как дождь, ледяной дождь, снег, гололед, гололедица, крупа ледяная.

Дата устойчивого перехода весной через +10 °С отмечена гораздо раньше среднего многолетнего значения (14 апреля) в 2022 и 2024 году. Продолжительность вегетационного периода, сумма активных температур, средняя температура июля – были выше средних многолетних значений.

Таблица 1 – Метеорологические показатели в период наблюдений
Table 1 – Meteorological indicators during the observation period

Показатели / Indicators		Годы наблюдений / Years of observation			Среднее многолетнее / Average long-term
		2022	2023	2024	
Минимальная температура воздуха, °C / Minimum air temperature, °C		-17,4	-19,0	-19,8	-28,3
Сумма отрицательных среднесуточных температур, °C / Sum of negative average daily temperatures, °C		-160,3	-241,0	-193,4	-385,3
Средняя температура января, °C / Average January temperature, °C		-1,7	-2,2	-2,6	-2,9
Максимальная температура воздуха в декабре – январе / Maximum air temperature in December – January		12,1	10,7	15,2	14,4
Продолжительность безморозного периода, дни / Duration of the frost-free period, days		222	192	169	240
Дата устойчивого перехода весной через +10 °C / Date of stable transition in spring through +10 °C		30.03	04.04	28.03	14.04
Вегетационный период / Growing season	количество дней / Number of days	199	220	203	184
	сумма активных температур, °C / sum of active temperatures, °C	3797,9	3811,1	4218,6	3529,2
Средняя температура июля, °C / Average July temperature, °C		24,1	23,6	27,5	22,9
Максимальная температура воздуха, °C / Maximum air temperature, °C		38,2	38,3	38,7	40,0
Среднегодовая температура воздуха, °C / Average annual air temperature, °C		11,5	11,4	12,3	10,9
Дата устойчивого перехода осенью через +10 °C / Date of stable transition in autumn through +10 °C		14.10	10.11.	16.10	17.10
Осадки, мм / Precipitation, mm	период покоя / dormancy period	199,9	198,9	201,8	276,1
	период вегетации / vegetation period	168,6	482,5	94,7	271,9
	итого / total	368,5	681,4	296,5	548,0
Количество дней с осадками за период вегетации / Number of days with precipitation during the growing season		45	73	21	45
Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК) / Hydrothermal coefficient of G. T. Selyaninov (HTC)		0,44	1,27	0,22	0,8
Коэффициент увлажнения С. А. Сапожниковой (КУ) / Moisture coefficient of S. A. Sapozhnikova (MC)		0,39	0,85	0,26	-
Индекс сухости М. И. Будыко (ИС) / M. I. Budyko's Dryness Index (DI)		1,96	1,00	4,14	-

Количество осадков в период вегетации колебалось в широких пределах: от 177 % в 2023 году до 35 % в 2024 году. Наибольшее количество осадков (рисунок 1) выпало в мае и ноябре 2023 г. (118,7 и 123,8 мм соответственно).

Согласно классификации Г. Т. Селянинова в 2022 году у нас была очень засушливая зона (гидротермический коэффициент (ГТК) = 0,7-0,4), в 2023 году – зона обеспеченного увлажнения (ГТК = 1,3-1,0), а в 2024 году – сухая зона (ГТК < 0,4). Северная граница степной зоны в европейской части России близка к изолинии K=1, а северная граница полупустыни ограничивается изолинией K=0,5. Колебания значений ГТК для зон неустойчивого увлажнения значительны и связаны с неравномерностью выпадения осадков. Индекс сухости Будыко М. И. – это годовой показатель увлажненности, а коэффициенты увлажнения С. А. Сапожниковой (КУ) и Г. Т. Селянинова (ГТК) – характеризуют влагообеспеченность агроэкосистемы при естественном увлажнении, КУ характеризует увлажненность почвы с учетом осадков холодного периода года, а ГТК – увлажненность теплого периода.

Необычные температурные условия были в мае 2024 г., среднесуточная температура воздуха (16 °С) была ниже средней многолетней (17,4 °С) и ниже, чем в апреле (16,2 °С). На поверхности почвы 5 и 10 мая отмечены заморозки до минус 0,6 °С, минимальная температура воздуха в эти дни не опускалась ниже +2,0 и +2,3 °С соответственно.

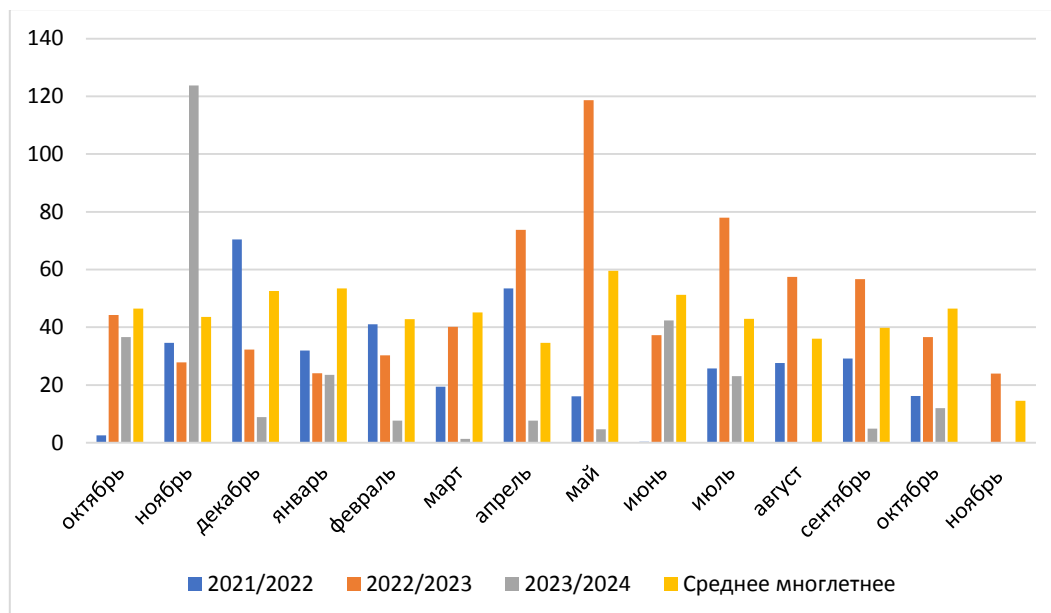


Рисунок 1 – Количество осадков по годам наблюдений
Figure 1 – Amount of precipitation by years of observation

Летом максимальные температуры воздуха были в пределах от 38,2 до 38,7 °С, это ниже среднемноголетнего максимума – 40,0 °С. Наибольшая сумма активных температур была в сезон 2024 года (более 4200 °С).

Дата устойчивого перехода осенью через +10 °С в 2022 и 2024 году была незначительно раньше среднего многолетнего (17 октября), а в 2023 году – значительно позже (на 24 дня, 10 ноября). Количество дней с осадками в период вегетации в 2022 году было – 45, в 2023 году – 74, в 2024 году – 21.

Изучаемые неукрывные сорта по-разному реагировали на зимние погодные условия. Так, например, сорта Анушают и Лусакерт (выведенные с участием *Vitis amurensis* Rupr.) в 2023 году (наиболее холодный год, наибольшая сумма отрицательных среднесуточных температур, минус 241 °С) имели наиболее низкий процент распутившихся почек (по 56 %) и коэффициент плодоношения (0,3 и 0,9 соответственно). Наиболее высокий процент распутившихся почек был у сорта Анушают в 2022 году, у Зовуни – в 2023, а у Лусакерт – в 2024 году (93, 99 и 97 % соответственно). Процент плодоносных побегов наивысший был у всех трех сортов в 2024 году (84, 95 и 80 % соответственно). Коэффициент плодоношения у сортов Зовуни и Лусакерт был наибольшим в 2024 году, а у сорта Анушают – 2022 году (1,4; 1,8 и 1,4 соответственно) (таблица 2).

У сортов, выведенных с участием винограда вида *Vitis labrusca* L., наиболее низким процент распутившихся почек был в 2024 году (от 84 до 88 %, абсолютный минимум температуры воздуха самый низкий за изучаемый период, минус 19,8 °С), наиболее высоким был у сорта Изабелла в 2022 г., у сортов Нью-Йорк мускат и Стьюбен – в 2023 году. Процент плодоносных побегов наиболее высокий был в 2024 году у сортов Изабелла и Нью-Йорк мускат (100 и 94 % соответственно), у сорта Стьюбен в 2023 году (99 %).

У сорта Грушевский белый (сложного межвидового происхождения) процент распутившихся почек был на одном уровне 86-87 %; процент плодоносных побегов и коэффициент плодоношения самые низкие были в 2022 году, самые высокие – в 2023 году.

Сравнив средние данные по группам сортов, отмечаем, что сорта Изабелла, Нью-Йорк мускат и Стьюбен имели более высокие показатели перезимовки и плодоносности в сравнении с сортами: Анушают, Зовуни, Лусакерт и Грушевский белый.

Таблица 2 – Агробиологические показатели изучаемых сортов
Table 2 – Agrobiological indicators of the studied varieties

Название сорта / Variety name	Распустившихся почек, % Blossoming buds, %				Плодоносных побегов, % / Fruitful shoots, %				Коэффициент плодородия / Fruitfulness ratio			
	2022	2023	2024	сред.	2022	2023	2024	сред.	2022	2023	2024	сред.
Сорта с <i>Vitis amurensis</i> Rupr. / Varieties with <i>Vitis amurensis</i> Rupr.												
Анушают / Anushayut	93	56	86	78	84	24	84	64	1,4	0,3	1,3	1,0
Зовуни / Zovuni	92	99	98	96	78	87	95	87	1,3	1,1	1,8	1,4
Лусакерт / Lusakert	88	56	97	80	69	72	80	74	1,2	0,9	1,4	1,2
Среднее по группе / Group average				85				75				1,2
Сорта с <i>Vitis labrusca</i> L. / Varieties with <i>Vitis labrusca</i> L.												
Изабелла / Isabella	98	95	88	94	98	91	100	96	2,6	2,3	2,9	2,6
Нью-Йорк мускат / New York muscat	87	96	84	89	84	84	94	87	1,3	1,2	1,6	1,4
Стьюбен / Steuben	94	97	86	92	91	99	97	96	1,2	1,6	1,7	1,5
Среднее по группе / Group average				92				93				1,8
Сорт сложного происхождения (с <i>Vitis amurensis</i> Rupr. и Сейв Виллард 23-657) / Variety of complex origin (with <i>Vitis amurensis</i> Rupr. and Seyve Villard 23-657)												
Грушевский белый / Grushevsky belyy	86	87	86	86	48	93	79	73	0,5	1,3	1,0	0,9
НСР _{0,5}				-				-				0,62

Наибольшая средняя масса грозди была у сортов: Анушают (339 г) и Грушевский белый (324 г), наименьшая – у сортов Изабелла и Зовуни (129 и 154 г соответственно). Сравнивая этот показатель по годам, отмечаем, что в 2022 г. она была наибольшей у сортов: Анушают, Зовуни, Нью-Йорк мускат, Стьюбен, а в 2023 г. – у сортов Лусакерт, Изабелла и Грушевский белый (таблица 3). У всех изучаемых сортов в 2024 году была наименьшая средняя масса грозди, что объясняется очень засушливым вегетационным периодом.

Анализируя продуктивность побегов, отмечаем, что в среднем в группах она была на одном уровне 280 и 293 г, у сорта Грушевский белый незначительно выше (313 г). В цифровом выражении максимальной она была у сортов Анушают 567 г и Грушевский белый 545 г.

Одним из главных хозяйственно-ценных показателей сорта является его урожайность. По годам, продуктивность и расчетная урожайность наибольшие были в 2022 году у сортов: Анушают, Изабелла, Нью-Йорк мускат, в 2023 году у сортов: Лусакерт, Стьюбен и Грушевский белый, в 2024 году – Зовуни. В среднем за 3 года наибольшая расчетная урожайность была у сортов Изабелла (169 ц/га), Лусакерт и Стьюбен (167 ц/га), наименьшая – у сорта Зовуни (118 ц/га). Наибольшая разница по годам в расчетной урожайности была у сортов Грушевский белый и Анушают (152 и 151 ц/га соответственно), наименьшая – у сортов Нью-Йорк мускат и Зовуни.

Для винограда важна не только урожайность, но и качество ягод (кондиции – сахаристость и титруемая кислотность). Согласно ГОСТ 31782-2012 «Виноград свежий машинной и ручной уборки для промышленной переработки. Технические условия» виноград для

винодельческой продукции должен содержать сахаров не менее 16,0 г/100 см³ для белых сухих вин и не менее 17,0 г/100 см³ для красных сухих вин. У нас в 2022 году не подходил для переработки сорт Лусакерт с сахаристостью 14,8 г/100 см³ и сорт Изабелла в 2022 и 2023 годах с сахаристостью 16,0 и 15,1 г/100 см³ (это сорта с черной ягодой).

Таблица 3 – Хозяйственно-ценные показатели изучаемых сортов
Table 3 – Economically valuable indicators of the studied varieties

Название сорта / Variety name	Средняя масса грозди, г / Average bunch weight, g				Продуктивность побега, г / Escape productivity, g				Расчетная урожайность, ц/га / Estimated yield, c/ha			
	2022	2023	2024	сред.	2022	2023	2024	среднее / average	2022	2023	2024	сред.
Сорта с <i>Vitis amurensis</i> Rupr. / Varieties with <i>Vitis amurensis</i> Rupr.												
Анушают / Anushayut	405	378	233	339	567	113	303	328	214	63	168	148
Зовуни / Zovuni	174	156	133	154	226	172	239	212	126	96	133	118
Лусакерт / Lusakert	238	385	193	272	286	347	270	301	159	193	150	167
Среднее по группе / Group average				255				280				144
Сорта с <i>Vitis labrusca</i> L. / Varieties with <i>Vitis labrusca</i> L.												
Изабелла / Isabella	154	165	69	129	400	379	200	326	204	193	111	169
Нью-Йорк мускат / New York muscat	216	212	138	189	281	254	221	252	156	141	123	140
Стьюбен / Steuben	272	207	146	208	326	331	248	302	181	184	138	167
Среднее по группе / Group average				175				293				159
Сорт сложного происхождения (с <i>Vitis amurensis</i> Rupr. и Сейв Виллард 23-657) / Variety of complex origin (with <i>Vitis amurensis</i> Rupr. and Seyve Villard 23-657)												
Грушевский белый / Grushevsky belyy	323	419	231	324	162	545	231	313	90	242	128	153
НСР _{0,5}				123,5				-				-

Недостаток влаги в сезон уборки урожая 2024 года отразился на сахаристости сока ягод, она была наибольшей у всех изучаемых сортов (у 5 из 7 – очень высокая, более 23,0 г/100 см³), максимальное значение 27,1 г/100 см³ у сорта Зовуни (рисунок 2).

В дождливый сезон 2023 года у 4 из 7 изучаемых сортов сахаристость была самая низкая, исключение составили сорта гибриды с *Vitis amurensis* Rupr.: Анушают, Зовуни и Лусакерт, у первого из них сахаристость в 2022 и 2023 году была одинаковой (21,4 г/100 см³), у второго и третьего – наиболее низкой в 2022 году. Это подтверждает ранее сделанный нами вывод, что сортам европейско-амурского происхождения свойственно проявлять биологическую приспособленность к повышенному количеству влаги [13].

По средней за годы изучения титруемой кислотности согласно «Codes des caracteres descriptifs des varietes et especes de Vitis» сорта были распределены следующим образом:

- очень низкая (менее 4 г/дм³) – Нью-Йорк мускат;
- низкая (4-6 г/дм³) – Стьюбен;
- средняя (7-9 г/дм³) – Изабелла, Грушевский белый, Зовуни;
- высокая (10-12 г/дм³) – Лусакерт, Анушают.

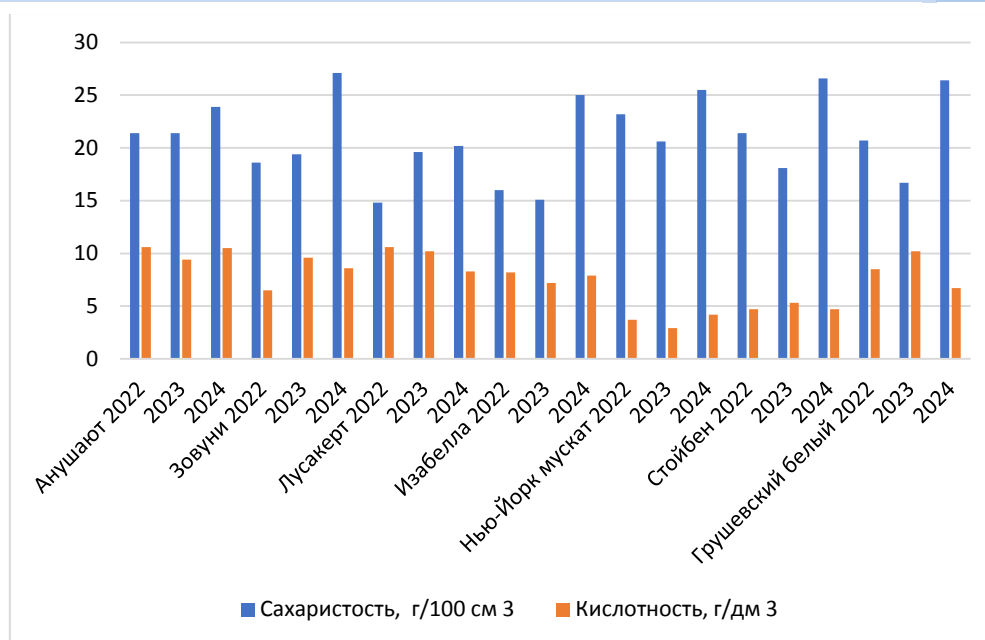


Рисунок 2 – Кондиции урожая изучаемых сортов по годам
Figure 2 – Crop conditions of the studied varieties by year

Выводы. Анализ изучения сортов винограда различного межвидового происхождения в контрастных климатических условиях Нижнего Придонья показал, что при сравнении средних данных сорта Изабелла, Нью-Йорк мускат и Стьюбен (гибриды с *Vitis labrusca* L.) имели более высокие показатели перезимовки и плодоносности в сравнении с сортами-гибридами с *Vitis amurensis* Rupr. и с сортом сложного межвидового происхождения. Практически у всех сортов (исключение сорт Анушают) коэффициент плодоношения был самый высокий в 2024 году. Так же у всех изучаемых сортов в 2024 году была наименьшая средняя масса грозди, что объясняется очень засушливым вегетационным периодом.

По годам наблюдений, продуктивность и расчетная урожайность наибольшие были в 2022 году у сортов: Анушают, Изабелла, Нью-Йорк мускат, в 2023 году у сортов: Лусакерт, Стьюбен и Грушевский белый, в 2024 году – Зовуни. В среднем за 3 года наибольшая расчетная урожайность была у сортов Изабелла (169 ц/га), Лусакерт и Стьюбен (167 ц/га), наименьшая – у сорта Зовуни (118 ц/га).

В дождливом 2023 году сахаристость сока ягод снизилась у сортов-гибридов с *Vitis labrusca* L. и у сорта сложного межвидового происхождения, а сорта европейско-амурского происхождения имели сахаристость на уровне или выше 2022 года, т.е. сорта европейско-амурского происхождения имеют повышенную потребность в воздушной и почвенной влаге.

Conclusions. The analysis of the study of grape varieties of different interspecific origin in the contrasting climatic conditions of the Lower Don region showed that when comparing the average data, the Isabella, New York Muscat and Steuben varieties (hybrids with *Vitis labrusca* L.) had higher wintering and fruitfulness rates compared to hybrid varieties with *Vitis amurensis* Rupr. and with a variety of complex interspecific origin. Almost all varieties (with the exception of the Anushayut variety) had the highest fruiting coefficient in 2024. Also, all the studied varieties in 2024 had the lowest average bunch weight, which is explained by a very dry growing season. According to the years of observation, the productivity and estimated yield were highest in 2022 for the varieties: Anushayut, Isabella, New York Muscat, in 2023 for the varieties: Lusakert, Steuben and Grushevsky Belyi, in 2024 – Zovuni. On average, over 3 years, the highest estimated yield was for the varieties Isabella (169 c/ha), Lusakert and Steuben (167 c/ha), the lowest – for the Zovuni variety (118 c/ha). In the rainy 2023, the sugar content of the berry juice decreased in hybrid varieties with *Vitis labrusca* L. and in a variety of complex interspecific origin, and varieties of European-Amur origin had a sugar content at the level or higher than in 2022, that is, varieties of European-Amur origin have an increased need for air and soil moisture.

Библиографический список

1. Delgado M., Roslin T., Tikhonov G. et al. Differences in spatial versus temporal reaction norms for spring and autumn phenological events. PNAS. 2020. V. 117. No 49. Pp. 31249-31258.
2. Kharouba H. M., Ehrlen J., Gelman A. et al. Global shifts in the phenological synchrony of species interactions over recent decades. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2018. No. 115 (20). Pp. 5211-5216.

3. Visser M. E., Gienapp P. Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nat. Ecol. Evol.* 2019. No. 3 (6). Pp. 879-885.
4. Кадомцева М. Е. Адаптация агропродовольственного комплекса к последствиям глобального изменения климата в системе стратегического планирования в РФ. *Научные исследования и разработки. Экономика.* 2023. Т. 6. № 11. С. 31-38.
5. Кадомцева М. Е. Система индикаторов устойчивого развития национального АПК. *Проблемы прогнозирования.* 2024. № 1 (202). С. 144-156.
6. Самончик О. А. Адаптация сельского хозяйства к изменениям климата: тенденции правового регулирования. *Право и государство: теория и практика.* 2020. № 7 (187). С. 129-133.
7. Кобышева Н. В., Акентьева Е. М., Пигольцина Г. Б. и др. Методическое руководство по оценке и управлению погодно-климатическими рисками и разработке адаптационных мер с экономическим обоснованием их применения в хозяйственной и социальной сферах. *Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова.* 2020. № 598. С. 5-136.
8. Костусьяк В. М. Информационно-аналитические системы по поддержке принятия решений по адаптации растениеводства к изменению климата. *Актуальные вопросы современной экономики.* 2021. № 11. С. 654-661.
9. Ползиков Д. А. Императивы адаптации к климатическим изменениям в разработке агропродовольственной политики в России. *Проблемы прогнозирования.* 2022. № 6 (195). С. 145-155.
10. Ефимов В. М., Речкин Д. В., Гончаров Н. П. Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2024. Т. 28. № 2. С. 155-165.
11. Новикова Л. Ю., Озерский П. В. Прогноз зоны возделывания винограда на европейской территории России в условиях изменения климата. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2022. Т. 26. № 3. С. 264-271.
12. Ганич В. А., Наумова Л. Г., Новикова Л. Ю. Анализ влияния агротехники и климата на интродуцированные сорта винограда на Донской ампелографической коллекции. *Вестник КрасГАУ.* 2023. № 10 (199). С. 70-81.
13. Ганич В. А., Наумова Л. Г., Фатахетдинова М. В. Реакция сортов винограда межвидового происхождения на погодные условия Нижнего Придонья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского корпуса.* 2024. № 4 (76). С. 95-103.

References

1. Delgado M., Roslin T., Tikhonov G. et al. Differences in spatial versus temporal reaction norms for spring and autumn phenological events. *PNAS.* 2020. Vol. 117. No. 49. Pp. 31249-31258.
2. Kharouba H. M., Ehrlén J., Gelman A. et al. Global shifts in the phenological synchrony of species interactions over recent decades. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2018. No. 115 (20). Pp. 5211-5216.
3. Visser M. E., Gienapp P. Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nat. Ecol. Evol.* 2019. No. 3 (6). Pp. 879-885.
4. Kadomtseva M. E. Adaptation of the agro-food complex to the consequences of global climate change in the strategic planning system in the Russian Federation. *Research and Development. Economy.* 2023. Vol. 6. No. 11. Pp. 31-38.
5. Samonchik O. A. Adaptation of agriculture to climate change: trends in legal regulation. *Law and state: theory and practice.* 2020. No. 7 (187). Pp. 129-133.
6. Kobysheva N. V., Akentyeva E. M., Pigoltsina G. B. et al. Methodological guidelines for assessing and managing weather and climate risks and developing adaptation measures with an economic justification for their application in the economic and social spheres. *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov.* 2020. No. 598. Pp. 5-136.
7. Kobysheva N. V., Akentyeva E. M., Pigoltsina G. B. et al. Methodological guidelines for assessing and managing weather and climate risks and developing adaptation measures with economic justification for their application in the economic and social spheres. *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov.* 2020. No. 598. Pp. 5-136.
8. Kostusyak V. M. Information and analytical systems to support decision-making on the adaptation of crop production to climate change. *Actual issues of modern economics.* 2021. No. 11. Pp. 654-661.
9. Polzikov D. A. Imperatives of Adaptation to Climate Change in the Development of Agri-Food Policy in Russia. *Problems of Forecasting.* 2022. No. 6 (195). Pp. 145-155.
10. Efimov V. M., Rechkin D. V., Goncharov N. P. Multivariate analysis of long-term climatic data in connection with productivity, early maturity and the problem of global warming. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2024. Vol. 28. No. 2. Pp. 155-165.
11. Novikova L. Yu., Ozersky P. V. Forecast of the grape cultivation zone in the European territory of Russia under climate change. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2022. Vol. 26. No. 3. Pp. 264-271.
12. Ganich V. A., Naumova L. G., Novikova L. Yu. Analysis of the influence of agricultural technology and climate on introduced grape varieties in the Don ampelographic collection. *Bulletin of KrasSAU.* 2023. No. 10 (199). Pp. 70-81.
13. Ganich V. A., Naumova L.G., Fatakhettinova M.V. Response of grape varieties of interspecific origin to weather conditions of the Lower Don region. *News of the Lower Volga Agrarian University Corps.* 2024. No. 4 (76). Pp. 95-103.

Информация об авторах

Наумова Людмила Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко – филиал ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 166), <https://orcid.org/0000-0002-5051-2616>; e-mail: LGnaumova@yandex.ru

Ганич Валентина Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко – филиал ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 166), <https://orcid.org/0000-0003-3992-2873>, e-mail: ganich1970@yandex.ru

Authors' Information

Naumova Lyudmila Georgievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, All-Russian Research Institute named after Ya. I. Potapenko for Viticulture and Winemaking – the Branch of «Federal Rostov Agricultural Research Center» (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 166), <https://orcid.org/0000-0002-5051-2616>; e-mail: LGnaumova@yansex.ru

Ganich Valentina Alekseevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute named after Ya. I. Potapenko for Viticulture and Winemaking – the Branch of Federal State Budget scientific Institution «Federal Rostov Agricultural Research Center» (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 166), <https://orcid.org/0000-0003-3992-2873>; e-mail: ganich1970@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-16

THE SAKMARA RIVER'S SPRING FLOOD AS A HARBINGER OF THE CHANGES IN THE WEATHER CONDITIONS AND CROP HARVEST IN THE CENTRAL ZONE OF THE ORENBURG REGION

Neverov A. A.

*Federal scientific Center for biological Systems and agricultural Technologies RAS
Orenburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nevalex2008@yandex.ru

Received 12.12.2024

Submitted 19.03.2025

*The research was carried out as part of the implementation of research for 2021-2030. FSBI FNC
BST RAS on the topic (FNWZ-2022-0014).*

Summary

Over the past five decades, the influence of fluctuations in the parameters of the spring flood of the Sakmara River in the steppe zone of the Orenburg region on the yield of agricultural crops has been established through prolonged changes in weather conditions during the growing season of plants.

Abstract

Introduction. For successful long-term forecasting of crop yields, it is necessary to take into account all factors that have a significant impact on the yield. Such factors include the characteristics of the spring flood of large rivers in the dry steppe zone, which indirectly, through meteorological factors, change the conditions for crop formation, but until recently were not taken into account in forecasting models. **The object of research** long-term series (1979-2024) of the maximum rise in water level and the date of its arrival during the spring flood of the Sakmara River (hydropost near the village of Tatarskaya Kargala), the yield of field crops: winter rye, barley, spring wheat, millet, corn and sunflower, as well as average daily air temperature, air humidity deficit and precipitation in the Orenburg district of the Orenburg region. **Materials and methods.** To search for conjugate relationships, correlation and regression analysis was used in the Statistica 6.1 Rus program for the time period 1979-2024. To build models of agricultural crop yields from environmental conditions, a step-by-step multiple regression method was used with the formation of regression equations in tabular form and an assessment of the reliability of all coefficients of independent predictors. **Results and conclusions.** Over a long period of time (1979-2024), the average regional yield of major grain crops and corn positively correlated with the parameters of the spring flood: the maximum water height in the Sakmara River ($R = 0.33-0.57$), with the date of the maximum water rise ($R = 0.29-0.4$) and the multiplicative interaction of these factors ($R = 0.31-0.50$). The closest relationship between the nature of the spring flood was found with the yield of winter rye and corn. The flood of the Sakmara River has an indirect effect on agricultural crops through a prolonged change in weather conditions of the growing season (April-August). Along with global climate parameters, long-term forecasting models for crop yields and meteorological factors must take into account the prolonged influence of spring flood parameters of large rivers and other bodies of water, especially in dry steppe conditions.

Keywords: watering of territories, river runoff, formation of river runoff, yield forecasting, spring floods of rivers.

Citation. Neverov A. A. The Sakmara river's spring flood as a harbinger of the changes in the weather conditions and crop harvest in the central zone of the Orenburg region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 151-162 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-16.

Author's contribution. The author of the article provided was directly involved in the research. The obtained results were subjected to a comprehensive analysis.

Conflict of interest. Absent.

УДК 631.95:57.045

ВЕСЕННЕЕ ПОЛОВОДЬЕ НА РЕКЕ САКМАРА КАК ПРЕДВЕСТНИК ИЗМЕНЕНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И УРОЖАЯ АГРОКУЛЬТУР В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОРЕНБУРЖЬЯ**Неверов А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр
биологических систем и агротехнологий РАН
г. Оренбург, Российская Федерация**Исследования проведены в рамках выполнения НИР на 2021-2030 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН по теме (FNWZ-2022-0014).**

Актуальность. Для успешного долгосрочного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур необходимо максимально учитывать все факторы, оказывающие существенное влияние на урожай. К таким факторам относятся особенности весеннего половодья крупных рек в сухостепной зоне, которые косвенным образом, через метеофакторы, изменяют условия формирования урожая, но до последнего времени в моделях прогнозирования не принимались во внимание. **Объект** исследования – многолетние ряды (1979-2024 гг.) максимального подъема воды и даты его прихода в период весеннего половодья реки Сакмары (гидропост у с. Татарская Каргала), урожайности полевых культур: озимой ржи, ячменя, яровой пшеницы, проса, кукурузы и подсолнечника, а также среднесуточной температуры воздуха, дефицита влажности воздуха и осадков в Оренбургском районе Оренбургской области. **Материалы и методы.** Для поиска сопряженных связей использовали корреляционно-регрессионный анализ в программе Statistica 6.1 Rus. на временном отрезке 1979-2024 гг. Для построения моделей урожайности сельскохозяйственных культур от экологических условий использовали пошаговый метод множественной регрессии с формированием уравнений регрессии в табличной форме и оценкой достоверности всех коэффициентов независимых предикторов. **Результаты и выводы.** За длительный период времени (1979-2024 гг.) средняя районная урожайность основных зерновых культур и кукурузы положительно коррелировала с параметрами весеннего половодья: максимальной высотой воды в реке Сакмара ($R=0,33-0,57$), с датой максимального подъема воды ($R = 0,29-0,4$) и от мультипликативного взаимодействия этих факторов ($R=0,31-0,50$). Наиболее тесная связь характера весеннего половодья обнаружена с урожайностью озимой ржи и кукурузы. Косвенное влияние на посевы сельскохозяйственных культур половодье реки Сакмары оказывает через пролонгированное изменение погодных условий вегетационного периода (апрель-август). Наряду с глобальными климатическими параметрами в моделях долгосрочного прогнозирования урожайности и метеофакторов необходимо учитывать пролонгированное влияние параметров весеннего половодья крупных рек и других водоёмов, особенно в условиях сухой степи.

Ключевые слова: обводнённость территорий, речные стоки, формирование речных стоков, прогнозирование урожайности, весеннее половодье рек.

Цитирование. Неверов А. А. Весеннее половодье на реке Сакмара как предвестник изменения погодных условий и урожая агрокультур в центральной зоне Оренбуржья. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 151-162. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-16.

Авторский вклад. Автор предоставленной статьи принимал непосредственное участие в проведении исследований. Полученные результаты подвергались всестороннему анализу.

Конфликт интересов. Отсутствует.

Введение. Известно немало работ [1-5] по влиянию различных климатических факторов на формирование годовых речных стоков и обводнённость территорий. Для степных аридных регионов, таких как Оренбургская область, в формировании водного стока большое значение имеют крупные реки Урал, Сакмара, Ириклинское, Верхнеуральское, Магнитогорское водохранилища, а также их притоки.

Для Урала, одной из наиболее крупных рек Оренбуржья, характерны значительные колебания годовых величин водных ресурсов от 25,6 (1946 г.) до 2,92 км³ (1967 г.). Благодаря построенному Ириклинскому водохранилищу годовой объём водного стока реки Урал уменьшился примерно на четверть, то есть очевидно существенное влияние двух факторов: климатического (потепление в осеннее-зимний период и антропогенного [6].

Водосбор рек Уральского бассейна занимает площадь 231 тыс. км². Особенностью формирования речных водостоків Уральского бассейна является преимущественное преобладание снегового питания (60-80 % объёма годового стока); дождевые осадки составляют 2-12 %, подземные воды – 13-38 %, в связи с чем происходят значительные межгодовые колебания объёма водного стока и погодных условий весеннее-летнего периода [7, 8, 9].

Согласно результатам исследований [10] в последние 30 лет в Уральском бассейне наблюдается фаза повышения водности в период зимней межени и сокращается расход воды в период весеннего половодья.

В летний период большое влияние на формирование осадков наряду с динамически развивающимися атмосферными фронтами оказывает дневная термическая конвекция [8]. Автор указывает, что вклад летней дневной конвекции может достигать тридцати процентов от общего объёма дневных осадков. Доля конвективных осадков во многом зависит от мега- и мезомасштабной характеристики подстилающей поверхности региона. Как известно, мезомасштабная характеристика подстилающей поверхности в весенний и раннелетний период может существенно меняться из-за объёма поступающей воды в период половодья, по некоторым данным сток р. Урал год от года может меняться в 10 и более раз [4].

Установлено [11, 12], что мезомасштабные процессы в атмосфере способны влиять также на процессы климатического масштаба.

Показано [3], что влагосодержание почвы, сформировавшееся весной, способно, в силу инерционности поведения, посредством изменения структуры теплового баланса участвовать на протяжении 3-4 месяцев в формировании температурно-влажностных аномалий. Наблюдавшаяся экстремальность термического режима лета 2010 г. в центральной части ВЕР определялась (при прочих равных условиях) удельными значениями влагосодержания почвы $w_0 = 0.6 - 0.65$. Обнаруженная тонкая зависимость явления от весеннего состояния влажности почвы ставит актуальной задачей совершенствование мониторинга почвенной влаги как важного фактора развития экстремальной погодной аномалии.

Основная роль в питании реки Урал принадлежит ее правым притокам, и прежде всего р. Сакмара. Хотя ее водосборная площадь занимает восьмую часть бассейна Урала, на ней формируется около 40 %, а в иные годы более половины суммарного стока нижнего Урала.

По сообщению Чибилева А. А., 1987, 2006 (Чибилев А. А. Река Урал. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 168 с., Чибилев А. А. Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург, 2008. 312 с.), в отличие от всех других крупных притоков р. Урал, Сакмара остается до настоящего времени практически незарегулированной рекой. Рассчитанный за сезон весеннего половодья сток р. Сакмара, самого крупного и незарегулированного притока р. Урал, незначимо отличается от фактически наблюдаемого, что говорит о незначительном хозяйственном влиянии на весенний сток реки [5].

По сообщению авторов (Лыкосов В. Н. и Крупчатников В. Н., 2006) в книге «Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование» исследователей привлекают обратные связи между процессами в почве и атмосферой, особенно в условиях средних и высоких широт. Почва, аккумулируя осадки, может значительно влиять на влажностный режим атмосферы. При этом возникает пролонгированный эффект, когда эвапотранспирация в летний период усиливает выпадение осадков в масштабе нескольких десятков или сотен километров.

По данным источников [13, 14] крупные водоёмы способны оказывать влияние на климат прилегающих к этому водоёму территорий. Данное воздействие в тёплый период года проявляется в охлаждении атмосферы территории прилегающей к водоёму и насыщению водяными парами, возрастает скорость ветра над водоёмом до 30 %. Увеличение глубины водоёма весной значительно усиливает охлаждающий эффект. Влияние водоёма на климат прилегающей территории в зависимости от рельефа местности может распространяться на расстояние до 30 и более километров.

Исследования показывают, что для успешного долгосрочного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур необходимо максимально учитывать все факторы, оказывающие существенное влияние на урожай. К таким факторам относятся особенности весеннего половодья крупных рек в сухостепной зоне, которые косвенным образом через метеофакторы изменяют условия формирования урожая.

Хорошо изучены и известны факторы, благодаря которым речной сток Урала и его притоков значительно колеблется: это различное промерзание почвы в осенне-зимний период, колебания осадков в холодный период года, нарастание температуры воздуха различной интенсивности весной, изменение площади водосбора. Много работ посвящено прогнозированию таких опасных явлений, как весеннее половодье, а также кратковременные наводнения, вызванные ливневыми осадками в тёплый период года. Вместе с тем почти нет исследований по влиянию весеннего половодья, сроков максимального подъёма воды в крупных реках на

изменчивость погоды на территориях, прилегающих к крупным водоёмам и, в конечном счёте, на формирование урожайности сельскохозяйственных культур. Данная работа призвана в какой-то степени заполнить образовавшийся пробел в изучении причинно-следственных связей на основе физико-статистического анализа многолетней информации (1979-2024 гг.) по влиянию весеннего половодья крупных рек Оренбургского района Оренбургской области на урожайность и погоду прилегающих к рекам территорий.

Материалы и методы. Для поиска сопряженных связей использовали корреляционно-регрессионный анализ. Построение моделей урожайности сельскохозяйственных культур от экологических условий осуществляли с помощью пошагового метода множественной регрессии с формированием уравнений регрессии в табличной форме и оценкой достоверности всех коэффициентов независимых предикторов.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались методом статистического анализа в программах «Statistica 6.1», «NCSS und PASS 2000» (StatSoftinc., США).

Объект исследования – многолетние ряды (1979-2024 гг.) максимального подъёма воды и даты его прихода в период весеннего половодья реки Сакмары (гидропост у с. Татарская Каргала), урожайности полевых культур: озимой ржи, ячменя, яровой пшеницы, проса, кукурузы и подсолнечника, а также среднесуточной температуры воздуха, дефицита влажности воздуха и осадков в Оренбургском районе Оренбургской области.

Результаты и обсуждение. Как известно [5, 7, 10], в отличие от реки Урал, протекающей по территории Оренбургской области, ее правый приток река Сакмара наименее зарегулирована гидротехническими сооружениями, является носителем информации о естественных природных процессах, оказывающих наибольшее влияние на формирование весеннего половодья и его характеристик.

Корреляционно-регрессионный анализ связи весеннего половодья двух крупных рек Урала и Сакмары с урожаем сельскохозяйственных культур подтвердил, что наиболее значимое влияние по всем показателям демонстрирует Сакмара при минимальном антропогенном воздействии на речной водосток. Поэтому принято решение остановиться на изучении этих связей.

За продолжительный период с 1979 по 2024 гг. (46 лет наблюдений) весеннее половодье можно охарактеризовать следующими параметрами, оказывающими достоверное влияние на погодные условия вегетационного периода и продуктивность сельскохозяйственных растений: максимальная высота воды, замеряемая ежегодно на одном месте, дата максимального подъёма воды, а также их совокупное влияние в виде произведения высоты воды на число дней от 1 апреля до максимального её подъёма (таблица 1).

Таблица 1 – Описательная статистика параметров весеннего половодья реки Сакмара (1979-2024 гг.)
Table 1 – Descriptive statistics of the spring flood parameters of the Sakmara River (1979-2024)

Параметры / Options	Среднее / Average	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандартное отклонение / Standard deviation
Максимальная высота воды, см / Maximum water height, cm	645	335	898	156,4
Число дней с 1 апреля до даты максимального подъёма воды, дн / Number of days from April 1 to the date of maximum water rise, days	31	2	63	15,3
Произведение двух факторов (мультипликативность), см*дн / Product of two factors (multiplication), cm/day	21168,6	1272,0	49707,0	12728,1

Максимальная высота подъёма воды в Сакмаре за указанный период варьировала от 335 до 898 см, при среднем значении 645 см. Средняя дата максимального подъёма воды приходилась на конец апреля с колебанием от 2 апреля до 2 июня. Ранний подъём означал приход ранней весны, а соответственно поздний – затяжной поздней. Соответственно, имеет значение мультипликативность этих двух факторов, их вариаций.

Между урожайностью сельскохозяйственных культур Оренбургского района и рассматриваемыми нами факторами весеннего половодья реки Сакмары обнаружены сопряжённые связи на высоком уровне достоверности $p \leq 0,001$ (таблица 2).

Таблица 2 – Корреляционные связи (R) урожайности сельскохозяйственных культур с параметрами половодья реки Сакмары (гидропост у Татарской Каргалы)

Table 2 – Correlation links (R) of crop yields with flood parameters of the Sakmara River (hydropost at Tatarskaya Kargaly)

Наименование сельскохозяйственной культуры / Name of the crop	Фактор А Максимальная высота реки Сакмара весной в половодье, см / Factor A Maximum height of the Sakmara River in spring during high water, cm	Фактор В Число дней от 1 апреля до максимального подъема воды, дн / Factor B Number of days from April 1 to maximum water rise, days	Взаимодействие АхВ Мультипликативный эффект от двух факторов / Interaction АхВ Multiplicative effect of two factors
Озимая рожь / Winter rye	0,57	0,40	0,50
Ячмень / Barley	0,35	0,29	0,36
Яровая пшеница / Spring wheat	0,42	-	0,38
Просо / Millet	0,33	-	0,31
Кукуруза (зел. масса) / Corn (green mass)	0,39	-	0,39
Подсолнечник / Sunflower	-	-0,37	-0,31

За длительный период времени (46 лет) средняя районная урожайность основных зерновых культур и кукурузы положительно коррелировала с параметрами весеннего половодья: максимальной высотой реки Сакмара ($R=0,33-0,57$), с датой максимального подъема воды ($R = 0,29-0,4$) и от мультипликативного взаимодействия этих факторов ($R=0,31-0,50$). Причем показанные корреляционные связи средней силы $0,3 \leq R \leq 0,7$ демонстрируют рост урожайности озимой ржи, ячменя, яровой пшеницы, проса и кукурузы при увеличении высоты подъема, а следовательно, и объема стока в период весеннего половодья. Также положительное влияние на урожайность оказывало более позднее смещение даты максимального прихода воды, т.е. поздняя весна. Для подсолнечника связь с половодьем обратная ($R_B=-0,37$; $R_{AB} = -0,31$). Затяжная весна ухудшала условия вегетации теплолюбивой культуры.

Наибольшее положительное влияние весеннее половодье оказывало на озимую рожь, урожайность которой в значительной степени зависела от экологических условий наиболее раннего периода вегетации относительно других культур ($R=0,57$): от возобновления роста весной в апреле до основных фаз формирования урожая в мае-июне (рисунок 1).

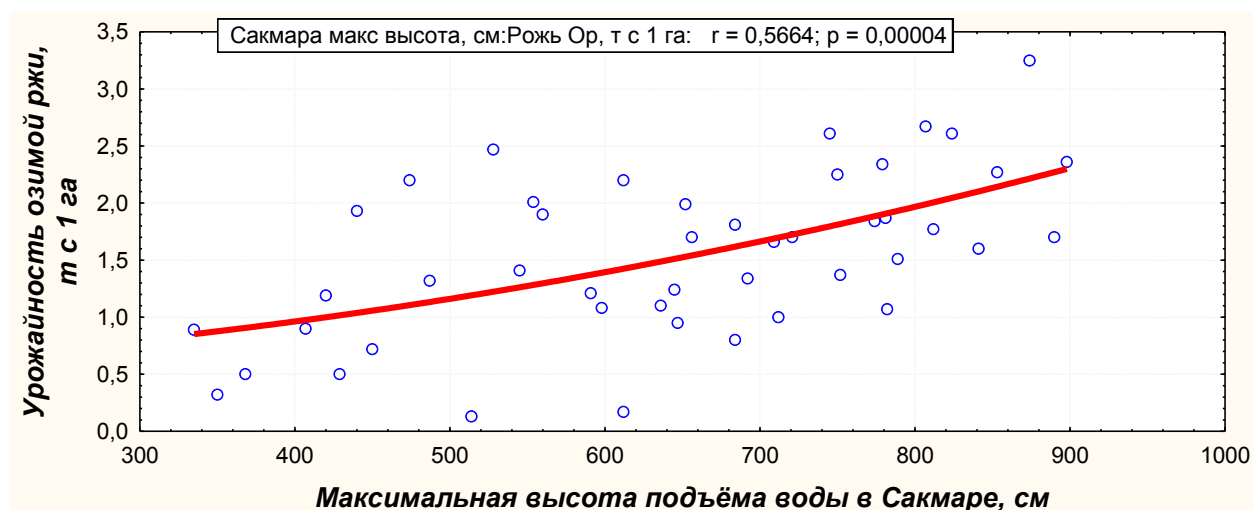


Рисунок 1 – Сопряжённая связь урожайности озимой ржи и максимальной высоты подъема воды в реке Сакмара

Figure 1 – The relationship between the yield of winter rye and the maximum height of water rise in the Sakmara River

Результаты корреляционного анализа подтверждаются сравнительной урожайностью двух сельскохозяйственных культур: озимой ржи и кукурузы, сформированной в период большой воды ≥ 800 см и маловодья ≤ 500 см (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнительная урожайность озимой ржи и кукурузы в весенний период большой воды и маловодья реки Сакмары, т га⁻¹Table 3 – Comparative yield of winter rye and corn in the spring period of high water and low water of the Sakmara River, t ha⁻¹

Большая вода ≥ 800 см / High water ≥ 800 cm				Маловодье ≤ 500 см / Low water ≤ 500 cm			
Годы / Years	Макс высота воды, см / Max water height, cm	Озимая рожь / Winter rye	Кукуруза (зелёная масса) / Corn (green mass)	Годы / Years	Макс высота воды, см / Max water height, cm	Озимая рожь / Winter rye	Кукуруза (зелёная масса) / Corn (green mass)
1979	812	1,77	9,7	1984	420	1,19	12,7
1983	824	2,61	12,3	1996	487	1,32	5,2
1990	874	3,25	16,8	2006	335	0,89	6,7
1993	807	2,67	9,7	2008	440	1,93	12,4
1994	898	2,36	9,7	2015	368	0,50	3,8
2007	853	2,27	10,0	2019	350	0,32	6,0
2024	890	1,70	10,0	2020	474	2,20	4,5
-	-	-	-	2021	429	0,50	3,5
-	-	-	-	2022	407	0,90	4,0
Среднее / Average	851	2,4	11,2	Среднее / Average	412	1,1	6,5

Из 46 лет наблюдений 7 лет на Сакмару приходила большая вода (812-898 см) и 9 лет маловодье (335-487 см). В период большой воды урожайность озимой ржи варьировала от 1,7 до 3,25 т га⁻¹, зеленой массы кукурузы 9,7-16,8 т га⁻¹, в маловодье 0,32-1,93 и 3,5-12,7 т га⁻¹ соответственно.

По осреднённым показателям: большая вода – 851 см, урожайность озимой ржи 2,4 т га⁻¹, зелёная масса кукурузы 11,2 т га⁻¹, а в маловодье – 412 см, урожайность озимой ржи 1,1 т га⁻¹ и 6,5 т га⁻¹ кукурузы. Практически все показатели по максимальной высоте подъёма воды и урожайности озимой ржи и кукурузы были в 2 раза ниже в условиях маловодья.

Воздействие весеннего половодья на формирование урожая сельскохозяйственных культур может быть прямым и косвенным. Прямое воздействие происходит в результате непосредственного контакта талой воды и объекта, например: прихода воды на поля путём увеличения запасов влаги в почве, смыв посевов озимых культур потоками воды и т.д. Косвенное влияние на посевы сельскохозяйственных культур половодье реки Сакмары оказало через пролонгированное изменение погодных условий вегетационного периода (таблица 4).

Уровень достоверности коэффициентов корреляции $r \leq 0,001$ не вызывает сомнений в объективности проведённых исследований за длительный период наблюдений – 46 лет.

Показано влияние высоты подъёма воды, даты её максимального подъёма и совместного мультипликативного воздействия этих факторов на погодные условия периода вегетации растений.

Сопряжённая связь параметров реки Сакмара в период половодья с погодными факторами: среднесуточной и максимальной температурой, а также дефицитом влажности воздуха проявилось в средней степени ($0,3 \leq R \leq 0,7$) за период с 1 декады апреля по 3-ю декаду августа.

Влияние половодья на температуру и дефицит влажности воздуха имеет обратную связь (отрицательный знак коэффициента корреляции), что означает, что при увеличении объёма проходящего паводка и в более поздний период смягчаются условия вегетации растений: снижается максимальная дневная температура и повышается относительная влажность воздуха. И, наоборот, ранний приход весны и маловодье приводят к усилению воздушной засухи.

Существенного влияния половодья на выпадение осадков вегетационного периода не обнаружено.

Изменения параметров половодья реки Сакмары приводит к пролонгированному изменению комплекса погодных факторов в период вегетации растений.

Таблица 4 – Корреляционные связи параметров реки Сакмара в период весеннего половодья с погодными факторами периода вегетации сельскохозяйственных культур (1979-2024 гг.)
Table 4 – Correlation links between the parameters of the Sakmara River during the spring flood with weather factors during the growing season of agricultural crops (1979-2024)

Фактор погоды / Weather factor	Коэффициент корреляции (R) / Correlation coefficient (R)
Максимальная высота подъема воды, см / Maximum height of water rise, cm	
Ср. температура июня, °C / Average June temperature, °C	-0,33
Ср. температура 2 дек июля, °C / Average temperature in the 2nd decade of July, °C	-0,40
Ср. температура июля, °C / Average July temperature, °C	-0,31
Макс. температура 3-ей декады июня, °C / Maximum temperature of the 3rd decade of June, °C	-0,39
Макс. температура 1-ой декады июля, °C / Max. Temperature of the 1st decade of July, °C	-0,34
Макс. температура 2-ой дек. июля, °C / Max. temperature of the 2nd decade of July, °C	-0,41
Число дней от 1 апреля до максимального подъема воды, дней / Number of days from April 1 to maximum water rise, days	
Ср температура 1 дек апреля, °C / Average temperature in the 1st decade of April, °C	-0,55
Ср температура 2 дек апреля, °C / Average temperature in the 2nd decade of April, °C	-0,40
Ср температура 3 дек апреля, °C / Average temperature in the 3rd decade of April, °C	-0,30
Ср температура апреля, °C / Average temperature in April, °C	-0,49
ДВВ 3 дек мая, гПа / DVV 3rd decade of May, hPa	-0,31
Ср температура 3 дек мая, °C / Average temperature in the 3rd decade of May, °C	-0,40
Макс температура 3 дек мая, °C / Max temperature 3rd decade of May, °C	-0,31
Макс температура 1 дек июля, °C / Max temperature of the 1st decade of July, °C	-0,36
Ср температура 2 дек августа, °C / Average temperature in the 2nd decade of August, °C	-0,50
ДВВ 2 дек августа, гПа / DVV 2nd decade of August, hPa	-0,46
Макс температура 2 дек августа, °C / Max temperature 2nd decade of August, °C	-0,44
Мультипликативный эффект от двух факторов / Multiplicative effect of two factors	
Ср температура 1 дек апреля, °C / Average temperature in the 1st decade of April, °C	-0,50
Ср температура 2 дек апреля, °C / Average temperature in the 2nd decade of April, °C	-0,37
Ср температура апреля, °C / Average temperature in April, °C	-0,43
Ср температура 3 дек мая, °C / Average temperature 3 Dec May, °C	-0,37
Ср температура мая, °C / Average temperature in May, °C	-0,31
Макс температура 3 дек апреля, °C / Max temperature 3rd decade of April, °C	-0,40
Макс температура 3 дек мая, °C / Max temperature 3rd decade of May, °C	-0,30
Макс температура 3 дек июня, °C / Max temperature of the 3rd decade of June, °C	-0,33
Макс температура 1 дек июля, °C / Max temperature of the 1st decade of July, °C	-0,42
Макс температура 2 дек июля, °C / Max temperature of the 2nd decade of July, °C	-0,35
Макс температура 2 дек августа, °C / Max temperature 2nd decade of August, °C	-0,42
ДВВ* 1 дек июля, гПа / AHD * 1st decade of July, hPa	-0,31
ДВВ 2 дек июля, гПа / AHD 2nd decade of July, hPa	-0,31
ДВВ 2 дек августа, гПа / AHD 2nd decade of August, hPa	-0,44
ДВВ 3 дек августа, гПа / AHD 3rd decade of August, hPa	-0,30

Примечание: ДВВ – дефицит влажности воздуха.

Note: DVV – air humidity deficit.

Нами установлено с помощью регрессионного анализа, что максимальный подъём воды в период половодья Сакмары, а также взаимодействие высоты подъёма и даты максимального подъёма воды вошли в статистические модели описания урожайности озимой ржи и кукурузы как независимые факторы, наряду с факторами погодных условий (таблицы 5 и 6).

Таблица 5 – Модель регрессии урожайности озимой ржи в Оренбургском районе Оренбургской области с экологическими факторами
Table 5 – Regression model of winter rye yield in the Orenburg district of the Orenburg region with environmental factors

Итоги регрессии для зависимой переменной:					
Число лет наблюдений n=46 Коэффициент множественной корреляции R= 0,88 Коэффициент детерминации R ² = 0,783 Критерий Фишера F(7,38)=19,6 Стандартная ошибка оценки: 1,3 ц с 1 га / Regression totals for the dependent variable: Number of years of observation n=46 Multiple correlation coefficient R= 0.88 Coefficient of determination R ² = 0.783 Fisher's criterion F(7.38)=19.6 Standard estimation error: 1.3 centners per 1 ha					
Предикторы / Predictors	Доля влияния фактора (R ²), % / Share of the influ- ence of the factor (R ²), %	β – стандартизо- ванный коэффициент / β – Standardized coefficient	Коэффициент уравнения (B) / Equation Factor (B)	Оценка коэффициента B по критерию Стьюдента t / Estimation of the B coeffi- cient according to the Student's criterion t	p – уровень достоверности / p – Confidence level
Св. член / article	-	-	2,401	3,83	0,000
t1m3d, °C	35,3	0,47	0,068	5,71	0,000
Сакмара макс высота, см / Sakmara max height, cm	13,3	0,50	0,002	5,70	0,000
t8m1d, °C	9,6	-0,27	-0,068	-3,40	0,002
os2m2d, мм	6,6	-0,24	-0,023	-2,93	0,006
os4m3d, мм	4,2	0,25	0,015	2,91	0,006
os7m, см	4,7	-0,31	-0,008	-3,51	0,001
t12m3dpr, °C	4,6	-0,25	-0,036	-2,83	0,007

Примечание: t – температура воздуха, os – осадки, m – месяц, d – декада, pr – предшествующий.

Note: t – air temperature, os – precipitation, m – month, d – decade, pr – preceding.

В данном случае параметры половодья выступают как интегральные факторы изменения погодных условий, существенно влияющих на формирование урожая озимой ржи и кукурузы. Полученные модели связи урожайности озимой ржи и кукурузы с экологическими условиями в 78,3 % случаев описывают условия формирования урожая озимой ржи и в 83,6 % случаев – урожая кукурузы. Все предикторы, входящие в модели, достоверны на очень высоком уровне (p≤0,006). Оценён вклад каждого предиктора в уравнении множественной регрессии. Сильное влияние на формирование урожая ржи играют два фактора: температура воздуха в 3-ей декаде января (35,3 % – доля фактора) и максимальный подъём воды в реке Сакмара в период половодья – 13,3 % (таблица 5). Даже осадки июля вносят вклад в частоту изменений урожая всего лишь 4,7 %, а температура 1-ой декады августа 9,6 %. Таким образом, влияние весеннего половодья на урожайность озимой ржи через изменения температуры воздуха и его насыщенности водяными парами доказана математически.

В модели кукурузы наибольшее влияние на урожайность зелёной массы оказывают: максимальная температура первой декады августа (41,2 %) и суммарные осадки со второй декады июля по первую декаду августа (13,8 %), в совокупности оба фактора объясняют 55 % случаев изменчивости урожаев кукурузы за последние 46 лет наблюдений. Но также

существенно (9,7 %) совместное мультипликативное влияние половодья на реке Сакмара, учитывающее как максимальную высоту подъёма воды, так и время этого подъёма. В уравнении регрессии коэффициент у данного предиктора положительный 0,0009, т.е., чем выше подъём воды и чем позже это случится, тем большая вероятность получить высокий урожай кукурузы. Иными словами, большая вода и поздняя весна повышает вероятность высокого урожая.

Таблица 6 – Модель регрессии урожайности зелёной массы кукурузы в Оренбургском районе Оренбургской области с экологическими факторами
Table 6 – Regression model of green mass yield of corn in the Orenburg district of the Orenburg region with environmental factors

Итоги регрессии для зависимой переменной:					
Число лет наблюдений n=46 Коэффициент множественной корреляции R= 0,91 Коэффициент детерминации R ² = 0,836 Критерий Фишера F(7,38)=27,6 Стандартная ошибка оценки: 17,3 ц с 1 га / Regression totals for the dependent variable: Number of years of observation n=46 Multiple correlation coefficient R= 0.91 Coefficient of determination R ² = 0.836 Fisher's criterion F(7.38)=27.6 Standard estimation error: 17.3 centners per 1 ha					
Предикторы / Predictors	Доля влияния фактора (R ²), % / Share of the influence of the factor (R ²), %	β - стандартизованный коэффициент / β - Standardized coefficient	Коэффициент уравнения (B) / Equation Factor (B)	Оценка коэффициента B по критерию Стьюдента t / Estimation of the B coefficient according to the Student's criterion t	p-уровень достоверности / p-Confidence level
Св. член / article	-		236,67	6,2	0,000
Max t8m1d, °C	41,2	-0,57	-6,82	-7,7	0,000
Sos7m2d-8m1d, мм	13,8	0,29	0,37	3,8	0,001
Сакмара * дата, см*дн / Sakmara * date, cm*days	9,7	0,30	0,0009	4,4	0,000
t9m1dpr, °C	5,7	0,29	4,14	4,3	0,000
t11mpr, °C	6,1	-0,24	-3,23	-3,4	0,001
t5m1d, °C	3,5	-0,25	-3,73	-3,6	0,001
t12m2dpr, °C	3,7	-0,21	-1,78	-2,9	0,006

Примечание: Max t – максимальная температура воздуха, Sos – сумма осадков периода.

Note: Max t – is the maximum air temperature, Sos – is the sum of precipitation of the period.

Наиболее мощное воздействие на прилегающую сельскохозяйственную территорию в условиях сухой степи оказывает весеннее половодье за счёт таяния снега и льда (до 80 % годового стока). Колебания межгодового объёма весеннего стока может различаться в 10 и более раз. В последние два десятилетия нарастание температур весной в условиях степи при незначительной высоте снежного покрова носит лавинообразный характер. Образно говоря, после зимы наступает лето. В подобных условиях вторжение огромного объёма холодной воды по речным руслам и понижениям способствует снижению температуры воздуха, насыщению приземного слоя воздуха водяными парами, а почвы влагой.

В отличие от метеорологии, в последнее время большее развитие получила синтетическая климатология, которая рассматривает необходимость изучения термодинамического состояния не только атмосферы, но и гидросферы, суши и даже биоты.

В работе климатологов [5] показано, что между стоковыми характеристиками рек Урал, Сакмара и Илек для периода весеннего половодья и погодными факторами: осадками, температурой и влажностью воздуха в летне-осенний период – наблюдается хорошая статистическая связь. Наши исследования данный факт полностью подтвердили по реке

Сакмара, за исключением влияния весеннего половодья на осадки летне-осеннего периода. Возможно понижение температуры воздуха и его повышенная влажность могут косвенно способствовать формированию условий для конвективных процессов и выпадению интенсивных ливневых осадков и града, что мы наблюдали летом 2024 года. Однако многие исследователи [14, 15] полагают, что данные атмосферные процессы возможны только при прохождении атмосферных фронтов.

В отличие от реки Урал более тесная сопряжённая связь параметров реки Сакмара в период половодья с погодными факторами и урожайностью основных сельскохозяйственных культур проявилась благодаря меньшей зарегулированности русла гидротехническими сооружениями, поэтому она в лучшей степени отражает естественное природное воздействие на формирование погоды в тёплый период года.

Наши исследования показали, что наряду с глобальными климатическими параметрами в моделях долгосрочного прогнозирования урожайности и метеофакторов необходимо учитывать пролонгированное влияние параметров весеннего половодья крупных рек и других водоёмов, особенно в условиях сухой степи, где межгодовой водный сток и его время прохождения меняются в 10 и более раз. В связи с этим возрастает актуальность долгосрочного прогнозирования параметров весеннего половодья на крупных реках степных регионов.

Закключение. За длительный период времени (1979-2024 гг.) средняя районная урожайность основных зерновых культур и кукурузы положительно коррелировала с параметрами весеннего половодья: максимальной высотой воды в реке Сакмара ($R=0,33-0,57$), с датой максимального подъёма воды ($R = 0,29-0,4$) и от мультипликативного взаимодействия этих факторов ($R=0,31-0,50$).

Наиболее тесная связь характера весеннего половодья обнаружена с урожайностью озимой ржи и кукурузы.

Косвенное влияние на посевы сельскохозяйственных культур половодье реки Сакмары оказывает через пролонгированное изменение погодных условий вегетационного периода (апрель-август).

Сопряжённая связь параметров реки Сакмара в период половодья с погодными факторами: среднесуточной и максимальной температурой, а также дефицитом влажности воздуха проявляется в средней степени ($0,3 \leq R \leq 0,7$) за период с 1 декады апреля по 3-ю декаду августа.

Влияние половодья на температуру и дефицит влажности воздуха имеет обратную связь (отрицательный знак коэффициента корреляции), что означает при увеличении объёма проходящего паводка и в более поздний период смягчаются условия вегетации растений: снижается максимальная дневная температура и повышается относительная влажность воздуха. И наоборот, ранний приход весны и маловодье приводят к усилению воздушной засухи.

Существенного влияния половодья на выпадение осадков в летне-осенний период не обнаружено.

Наряду с глобальными климатическими параметрами в моделях долгосрочного прогнозирования урожайности и метеофакторов необходимо учитывать пролонгированное влияние параметров весеннего половодья крупных рек и других водоёмов, особенно в условиях сухой степи.

Conclusions. Over a long period of time (1979-2024), the average regional yield of the main grain crops and corn was positively correlated with the parameters of the spring flood: the maximum water height in the Sakmara River ($R=0.33-0.57$), the date of the maximum water rise ($R = 0.29-0.4$) and the multiplicative interaction of these factors ($R=0.31-0.50$).

The closest connection between the nature of spring floods and the yield of winter rye and corn was found.

The flood of the Sakmara River has an indirect impact on crops through a prolonged change in weather conditions during the growing season (April-August).

The conjugate relationship between the parameters of the Sakmara River during the flood period and weather factors: average daily and maximum temperature, as well as the deficit of air humidity is manifested in an average degree ($0.3 \leq R \leq 0.7$) for the period from the 1st decade of April to the 3rd decade of August.

The influence of flooding on the temperature and humidity deficit of the air has an inverse relationship (negative sign of the correlation coefficient), which means that with an increase in the volume of the passing flood and in a later period, the vegetation conditions of plants are mitigated: the maximum daytime temperature decreases and the relative humidity of the air increases. And vice versa, the early arrival of spring and low water lead to an increase in air drought.

A significant influence of flooding on precipitation in the summer-autumn period was not found.

Along with global climatic parameters, models for long-term forecasting of yields and meteorological factors should take into account the prolonged influence of spring flood parameters of large rivers and other water bodies, especially in dry steppe conditions.

Библиографический список

1. Алимпиева М. А., Морозова С. В. Долгосрочный прогноз типов весен на примере Саратовской области. *Метеорология и гидрология*. 2019. № 7. С. 92-100.
2. Толстых М. А. Применение моделей прогноза погоды для моделирования климата. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2023. Т. 9. № 3. С. 318-329.
3. Кузин В. И., Платов Г. А., Лаптева Н. А. Оценка влияния межгодовой изменчивости стока сибирских рек на циркуляцию Северного Ледовитого океана. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2015. Т. 51. № 4. С. 437-447.
4. Борщ С. В., Симонов Ю. А., Христофоров А. В., Юмина Н. М. Прогнозирование характеристик половодья 2024 года на реках Ишим, Тобол и Урал. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2024. № 2 (392). С. 111-129.
5. Юмина Н. М., Магрицкий Д. В. Оценка климатического и антропогенного вкладов в многолетние колебания сезонного стока рек бассейна реки Урал. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2024. № 1 (391). С. 135-151.
6. Толстых М. А. Применение моделей прогноза погоды для моделирования климата. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2023. Т. 9. № 3. С. 318-329.
7. Сивохип Ж. Т., Павлейчик В. М., Чибилёв А. А., Падалко Ю. А. Современные изменения водного режима рек бассейна р. Урал. *Вопросы географии*. 2018. № 145. С. 298-313.
8. Цыценко К. В., Владимиров Т. И. Водные ресурсы бассейна р. Урал и их изменения. *Гидрометеорология и экология*. 2011. № 1 (60). С. 75-83.
9. Цой О. Б. К вопросу о роли дневной термической конвекции в летнем осадкообразовании. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2008. № 6. С. 45-49.
10. Сивохип Ж. Т., Павлейчик В. М., Чибилёв А. А. Изменения водного режима рек бассейна реки Урал. *Доклады Академии наук*. 2019. Т. 488. № 5. С. 545-549.
11. Крупчатников В. Н., Платов Г. А., Голубева Е. Н. О некоторых результатах исследований в области численного прогноза погоды и теории климата в Сибири. *Метеорология и гидрология*. 2018. № 11. С. 7-19.
12. Калинин Н. А., Шихов А. Н., Быков А. В. Прогноз мезомасштабных конвективных систем на Урале с помощью модели WRF и данных дистанционного зондирования. *Метеорология и гидрология*. 2017. № 1. С. 16-28.
13. Назарова Л. Е., Макарова А. С. Влияние крупного водоёма на климат прилегающих территорий. http://resources.krc.karelia.ru/krc/doc/publ2010/water_area_041-48.pdf
14. Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: материалы международной научно-практической конференции. Под общ. редакцией С. А. Куролапа, Л. М. Акимов, В. А. Дмитриевой. Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2019. Том 1. 532 с.
15. Алексеева А. А. Особенности условий возникновения активной конвекции с сильными шквалами. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019. № 2 (372). С. 41-58.

References

1. Alimpieva M. A., Morozova S. V. Long-term forecast of spring types using the Saratov region as an example. *Meteorology and Hydrology*. 2019. No. 7. Pp. 92-100.
2. Tolstykh M. A. Application of weather forecast models for climate modeling. *Fundamental and Applied Climatology*. 2023. V. 9. No. 3. Pp. 318-329.
3. Kuzin V. I., Platov G. A., Lapteva N. A. Assessment of the impact of interannual variability of Siberian river's runoff on the circulation of the Arctic Ocean. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics of the Atmosphere and Ocean*. 2015. V. 51. No. 4. Pp. 437-447.
4. Borsch S. V., Simonov Yu. A., Khristoforov A. V., Yumina N. M. Forecasting the characteristics of the 2024 flood on the Ishim, Tobol and Ural rivers. *Hydrometeorological research and forecasts*. 2024. No. 2 (392). Pp. 111-129.
5. Yumina N. M., Magritsky D. V. Assessment of climatic and anthropogenic contributions to long-term fluctuations in seasonal river runoff in the Ural River basin. *Hydrometeorological research and forecasts*. 2024. No. 1 (391). Pp. 135-151.
6. Tolstykh M. A. Application of weather forecast models for climate modeling. *Fundamental and Applied Climatology*. 2023. V. 9. No. 3. Pp. 318-329.
7. Sivokhip Zh. T., Pavleichik V. M., Chibilev A. A., Padalko Yu. A. Modern changes in the water regime of the rivers of the Ural River basin. *Geography Issues*. 2018. No. 145. Pp. 298-313.
8. Tsytsenko K. V., Vladimirova T. I. Water resources of the Ural River basin and their changes. *Hydrometeorology and Ecology*. 2011. No. 1 (60). Pp. 75-83.
9. Tsoi O. B. On the role of daytime thermal convection in summer precipitation. *Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2008. No. 6. Pp. 45-49.
10. Sivokhip Zh. T., Pavleichik V. M., Chibilev A. A. Changes in the water regime of the rivers of the Ural River basin. *Reports of the Academy of Sciences*. 2019. V. 488. No. 5. Pp. 545-549.
11. Krupchatnikov V. N., Platov G. A., Golubeva E. N. On some results of studies in the field of numerical weather prediction and climate theory in Siberia. *Meteorology and Hydrology*. 2018. No. 11. Pp. 7-19.
12. Kalinin N. A., Shikhov A. N., Bykov A. V. Forecast of mesoscale convective systems in the Urals using the WRF model and remote sensing data. *Meteorology and Hydrology*. 2017. No. 1. Pp. 16-28.
13. Nazarova L. E., Makarova A. S. The influence of a large reservoir on the climate of adjacent territories. http://resources.krc.karelia.ru/krc/doc/publ2010/water_area_041-48.pdf
14. Global climate change: regional effects, models, forecasts: Proceedings of the international scientific and practical conference. Under the general editorship of S. A. Kurolap, L. M. Akimov, V. A. Dmitrieva. Voronezh: Publishing House, 2019. Vol. 1. 532 p.

15. Alekseeva A. A. Features of the conditions for the emergence of active convection with strong squalls. Hydrometeorological research and forecasts. 2019. No. 2 (372). Pp. 41-58.

Author's Information

Neverov Aleksander Alekseevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, Gagarin Ave., 27/1), ORCID - 0000-0001-5467-2476, e-mail: nevalex2008@yandex.ru

Информация об авторах

Неверов Александр Алексеевич, ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1), ORCID - 0000-0001-5467-2476, e-mail: nevalex2008@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-17

THE FORMATION OF THE MEADOW YIELDS UNDER VARIOUS MOISTURE FACTORS IN THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN

Rybashlykova L. P., Turko S. Yu.

*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: rybashlykova-l@vfanc.ru

Received 11.02.2025

Submitted 17.04.2025

This study was funded within the framework of State Tasks No. 124013000642-9 "Development of the theory and system of measures for the sustainable functioning of pasture ecosystems in arid and subarid zones of the Caspian Sea region".

Summary

Agrometeorological research aims to identify dependencies between growth, development, and yield of estuarine-floodplain vegetation and a complex of hydro meteorological factors for subsequent qualitative and quantitative assessment of meadow grass yield. The results of the research showed that for meadows that are not flooded or flooded not annually and for a short period of time the groundwater level for the spring period serves as a good yield criterion, and as an additional criterion – precipitation of the critical period from the beginning of earing to the end of flowering of cereals. Meadow hay yield in dry years on flooded plots ranges from 3.3 t/ha to 6.3 t/ha, on dryland plots from 2.0 t/ha to 4.2 t/ha.

Abstract

Introduction. In the Caspian Sea region, one of the sources of hay production is estuary-floodplain hayfields, which make up about 10 % of the total area of hayfields. The specific weight of hay harvested from them reaches 38-40 % of the total hay harvest. The analysis of dependence between growth, development, and yield of estuarine-floodplain vegetation and a complex of hydro meteorological factors serves as a basis for further qualitative and quantitative assessment of meadow grass yield. **Objects of the study:** meadow communities on dry and flooded areas of the Volga-Akhtuba floodplain. **Materials and methods.** Research on the dynamics of meadow vegetation development was conducted in the Volga-Akhtuba floodplain on the territory of Kharabalinsky District of Astrakhan Oblast. Precipitation and temperature data for the period from 2018 to 2024 (Kharabali meteorological station) were used in the study with the estimation of meadow yields. The dates of onset of phenological phases and duration of ontogenesis periods were determined visually. Grass yield was determined by cutting during the growing season. Statistical analysis of the obtained data was carried out by the method of dispersion, and correlation analysis was carried out according to Dospekhov using Excel 2019 and STATGRAPHICS+5.0 programs. **Results and conclusions.** In meadows flooded annually, the timing of floods and precipitation in the first half of the active vegetation of plants can serve as a predictor of yield, with the greatest effect of precipitation in the early recession of flood waters. For non-flooded meadows or meadows flooded not annually and for a short period of time, the groundwater table for the spring period is a good yield criterion, and precipitation during the critical period from the beginning of earing to the end of flowering of cereals is an additional criterion. In the Volga-Akhtuba floodplain, the average hay yield in dry years on flooded plots ranges from 3.3 t/ha to 6.3 t/ha, on dryland plots from 2.0 t/ha to 4.2 t/ha.

Keywords: Volga-Akhtuba floodplain, alluvial-meadow soils, meadow communities, meadow grass yield.

Citation. Rybashlykova L. P., Turko S. Yu. The formation of the meadow yields under various moisture factors in the Volga-Akhtuba floodplain. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 162-170 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-17.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.2.031

**ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЛУГОВЫХ УГОДИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРАХ
УВЛАЖНЕНИЯ В ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЕ****Рыбашлыкова Л. П., кандидат сельскохозяйственных наук****Турко С. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук***Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация***Данное исследование было выполнено в рамках Государственного задания № 124013000642-9 «Разработка теории и системы мероприятий устойчивого функционирования пастбищных экосистем в аридных и субаридных зонах Прикаспия».**

Актуальность. В Прикаспии одним из источников заготовки сена являются лиманно-пойменные сенокосы, составляющие около 10 % общей площади сенокосных угодий. Удельный вес собранного с них сена достигает 38-40 % общего его сбора. Анализ зависимости между ростом, развитием, урожайностью лиманно-пойменной растительности и комплексом гидрометеорологических факторов служит основанием для последующей качественной и количественной оценки урожайности луговых травостоев. **Объекты исследования:** луговые сообщества на суходольных и затопляемых участках Волго-Ахтубинской поймы. **Материалы и методы.** Исследования динамики развития луговой растительности проводились в Волго-Ахтубинской пойме на территории Харабалинского района Астраханской области. При исследовании были использованы данные об осадках и температуре за период с 2018 по 2024 годы (метеостанция г. Харабали) с оценкой урожайности луговых угодий. Урожайность травостоя определяли с помощью укосов в период вегетации. Статистический анализ полученных данных проводили методом дисперсии, а корреляционный анализ проводился по Доспехову с помощью программ Excel 2019 и STATGRAPHICS+5.0. **Результаты и выводы.** На ежегодно заливаемых паводками лугах прогностическим признаком урожайности могут служить сроки паводков и атмосферные осадки первой половины активной вегетации растений, причем при раннем спаде паводковых вод эффект от осадков отмечается наибольший. Для незаливаемых лугов или заливаемых не ежегодно и на короткий срок хорошим критерием урожайности служит уровень грунтовых вод на весенний период, а в качестве дополнительного – осадки критического периода от начала колошения до конца цветения злаков. В Волго-Ахтубинской пойме средняя урожайность сена в засушливые годы на заливаемых участках составляет от 3,3 т/га до 6,3 т/га, на суходольных от 2,0 т/га до 4,2 т/га.

Ключевые слова: Волго-Ахтубинская пойма, аллювиально-луговые почвы, луговые сообщества, урожайность луговых трав.

Цитирование. Рыбашлыкова Л. П., Турко С. Ю. Формирование урожайности луговых угодий при различных факторах увлажнения в Волго-Ахтубинской пойме. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 162-170. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-17.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Волго-Ахтубинская пойма считается одним из крупнейших мировых оазисов, ее площадь – 7,56 тыс. кв. км. Пойма расположена в пределах Волгоградской, Астраханской области и Республики Калмыкия [1]. Пойменные участки имеют большое ресурсное значение в качестве кормовой базы животноводства (используются под сенокос и выпас скота) [2-5]. Паводок, формирующийся за счет попусков воды из Волгоградского водохранилища, приходится на весенне-летний период и является одним из основных источников влагообеспеченности луговых травостоев [6, 7]. В Прикаспии одним из источников заготовки сена являются лиманно-пойменные сенокосы, составляющие около 10 % общей площади сенокосных угодий. Удельный вес собранного с них сена достигает 38-40 % общего его сбора [8-10]. Агрометеорологические исследования ставят своей целью выявление зависимостей между ростом, развитием, урожайностью лиманно-пойменной растительности и комплексом гидрометеорологических факторов для последующей качественной и количественной оценки урожайности луговых травостоев. Пойменные луга принадлежат к интразональному типу растительности и относительно мало зависят от зональных и климатических условий. Одним из основных факторов, определяющих экологические условия луга, его флористический состав, а также особенности роста и развития растений, является гидрологический режим [11-18].

Материалы и методы. Исследования за ритмами развития луговой растительности проводились в Волго-Ахтубинской пойме на территории Харабалинского района Астраханской области (47.30045 с.ш., 47.21842 в.д.; 47.30069 с.ш., 47.22017 в.д.; 47.30033 с.ш.,

47.21819 в.д.). Климат исследуемого района континентальный с высокими температурами летом, низкими – зимой, значительными годовыми и летними суточными амплитудами температуры воздуха, малым количеством осадков и высокой испаряемостью.

Весна устанавливается в конце марта и продолжается 40-45 дней до даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 15 °С. Отличительной чертой весеннего периода является большая изменчивость синоптических процессов и быстрая смена направления воздушных масс. Для весны характерны повсеместно возвраты холодных периодов, обуславливающие заморозки.

Лето устанавливается в середине мая и кончается в середине сентября. Продолжительность лета в среднем 110-135 дней. Для этого периода характерны засухи, сопровождаемые суховеями. Наиболее жарким месяцем является июль, когда среднемесячная температура воздуха составляет 24 °С. Абсолютный максимум составляет 40-44 °С, поверхность почвы нагревается до 70 °С. Облачность летом резко уменьшается, осадки выпадают неравномерно и малыми нормами.

Осенью переход суточной температуры воздуха через 15 °С происходит в первой половине сентября, а через 0 °С – в середине ноября. Ясная, сухая маловетренная погода, умеренно высокая температура воздуха днем и прохладные ночи – таковы характерные особенности первой половины осени. В дальнейшем с падением температуры воздуха увеличивается облачность, чаще выпадают осадки. Заморозки наблюдаются в конце сентября – начале октября.

Таблица 1 – Динамика изменения среднемесячной температуры и количества осадков за 2018-2024 гг.
Table 1 – Dynamics of changes in the average monthly temperature and precipitation for 2018-2024

Месяц / Month	Ср. мнг / average annual	Среднее значение за вегетационный период года / Average for the growing season of the year						
		Температура, °С / Temperature, °C						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Апрель / April	11,8	10,5	11,6	9,8	13,0	13,5	14,7	12,9
Май / May	19,2	21,4	20,2	18,2	21,1	15,8	18,6	18,8
Июнь / June	24,4	23,7	26,8	26,6	25,4	24,2	23,1	25,1
Июль / July	26,9	27,4	24,9	28,3	27,5	24,0	25,7	26,4
Август / August	24,7	23,8	23,3	22,7	28,0	28,1	26,6	25,2
Сентябрь / September	18,3	18,9	15,7	18,0	16,3	18,2	18,7	17,9
Отклонения от среднего +/- / Deviations from the average +/-	20,9	0,05	-0,5	-0,3	1,0	-0,3	0,3	0,2
Осадки, мм / Rainfall, mm								
Апрель / April	20	6,3	41	2,8	24	16	12	3,2
Май / May	23	0,5	29	23	14	32	47	4,8
Июнь / June	25	0,5	5,3	7,4	39	7	23	14,8
Июль / July	21	62	16	0,5	6,8	31	37	1
Август / August	22	0,3	1,7	35	0	0	7	11
Сентябрь / September	23	13	15	0	61	15	5	0,3
Отклонения от среднего +/- / Deviations from the average / +/-	22,3	-8,5	-4,3	-10,8	1,8	-5,5	-0,5	-16,5

Согласно агроклиматическому районированию, территория исследований по степени влагообеспеченности относится к субаридной зоне, по условиям теплообеспеченности летнего периода – к умеренно жаркому подрайону. Сумма температур активной вегетации (среднесуточная температура воздуха выше 10 °С) изменяется в пределах 3200°-3400°. Длительность безморозного периода не превышает 170 дней.

Годовое количество осадков составляет в среднем 200 мм, из них за теплый период (апрель-сентябрь) выпадает до 115 мм. Отражением рельефа является почвенный покров участка. На различных элементах рельефа сформировались различные типы почв. Почвы аллювиальные луговые насыщенные темноцветные. Распространены они по пониженным элементам рельефа в условиях дополнительного паводкового увлажнения. Грунтовые воды в понижении залегают на глубине 1,0-1,5 м. В меженный период на слабоволнистой равнине – 2,0-2,5 м. Почва: аллювиальная луговая насыщенная темноцветная маломощная среднесуглинистая. Залегают эти почвы в комплексе с аллювиальными дерновыми насыщенными слоистыми маломощными легкосуглинистыми, которые залегают на более повышенных элементах рельефа.

При исследовании были использованы данные по продуктивности луговых сообществ, а также данные об осадках и температуре за период с 2018 по 2024 год (таблица 1). Данные о погоде были получены с метеостанции г. Харабали.

Сроки наступления фенологических фаз и продолжительности периодов онтогенеза определяли визуально. За начало каждой фазы брали время наступления её примерно у 10 % особей, за полное наступление – у 75 % растений. Урожайность травостоя определяли с помощью укосов в период вегетации.

Статистический анализ полученных данных проводили методом дисперсии, а корреляционный анализ проводился по Доспехову с помощью программ Excel 2019 и STATGRAPHICS+5.0.

Результаты и обсуждение. В геоморфологическом отношении поймы подразделяется на низкую, среднюю и высокую, что обеспечивает различные условия увлажнения лугов. В паводок происходит смыкание поверхностных и грунтовых вод. По мере спада паводка (третья декада май-июнь) уровень грунтовых вод постепенно понижается. В связи с различными гидрологическими условиями в пойме распространены фитоценозы со свойственными им определенными видами и ритмами их развития. Наши наблюдения показали, что возобновление вегетации тростника обыкновенного *Phragmites australis* (Cav.), произрастающего в различных условиях паводкового режима, отмечается в разные сроки. Это обуславливается различной степенью прогревания верхнего корнеобитаемого слоя почвы в весенний период. Возобновление вегетации видов, обитающих в условиях редкозатапливаемой и незатапливаемой поймы (высокие участки средней с переходом к высокой пойме), отмечались при первом значительном повышении температуры воздуха весной. Пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.)) начинает вегетировать после пентады со среднесуточной температурой воздуха >8,7°, тростник обыкновенный (*P. australis*) > 10,3°, солодка голая (*Glycyrrhiza glabra* L.) >14,0° (таблица 2).

Таблица 2 – Возобновление вегетации пойменной растительности в условиях незаливаемой поймы
Table 2 – Renewal of vegetation of floodplain vegetation in conditions of non-flooded floodplain

Показатели / meaning	<i>Elytrigia repens</i>			<i>Phragmites australis</i>			<i>Glycyrrhiza glabra</i>		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Возобновление вегетации / Resumption of vegetation	25/III	5/IV	30/III	18/IV	12/IV	4/IV	16/IV	10/IV	4/IV
$\sum t$ воздуха за предыдущую пентаду, °С / $\sum t$ of air for the previous pentade, °С	43	43	35	54	52	62	54	52	62
Средняя t за пентаду, °С / Average t per pentad, °С	8,6	8,6	7,0	10,8	10,4	12,4	10,8	10,4	12,4

Тростник обыкновенный (*P. australis*) и солодка (*G. glabra*), как более теплолюбивые виды, возобновили вегетацию в 2023 году на 6 дней раньше, несмотря на более позднее наступление весны по сравнению с 2022 годом. Эти даты отмечены после пентады с суммой 52-54°, что составляет в среднем за сутки 10,4-10,8°. Разнообразие условий среды в пойме оказывает влияние и на дальнейшее прохождение фаз развития растений. Так, период от возобновления вегетации тростника (*P. australis*) до фазы выметывания в зависимости от сроков спада паводка колеблется от 82-115 дней. При относительно устойчивом гидрологическом режиме луговые растения выработали относительно устойчивые ритмы развития (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *E. repens* и др.), таблица 3.

Таблица 3 – Фенологическое развитие пойменной растительности в условиях установившегося гидрологического режима

Table 3 – Phenological development of floodplain vegetation under conditions of established hydrological regime

Вид / plant type	Колошение, образование соцветий / Earing, formation of inflorescences	Цветение / blooming	Число дней / number of days		$\sum t$ воздуха >0°/ $\sum t$ of air >0 °	
			отрастание-колошение / regrowth-earing	отрастание-цветение / regrowth-flowering	отрастание-колошение / regrowth-earing	отрастание-цветение / regrowth-flowering
<i>Elytrigia repens</i>	25/V	12/VI	50	68	760	1110
<i>Calamagrostis epigeios</i>	17/IV	30/VI	60	73	1065	1345
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	20/V	5/VI	25	47	535	910

Сумма положительных температур от возобновления вегетации до колошения у пырея (*E. repens*) составляет 760°, до цветения 1110°, у ветки наземной (*C. epigeios*) соответственно 1065-1345°. У солодки голой (*G. glabra*) бутонизация отмечается при наборе сумм температур от начала вегетации 535°, цветения 910°. Таким образом, одним из основных факторов среды, который определяет экологию луга, его флористический состав, а также особенности роста и развития лиманно-пойменной растительности, является гидрологический режим. При относительно установившемся гидрологическом режиме у луговых растений от начала вегетации до последующих фаз развития отмечаются относительно устойчивые суммы температур.

Наиболее пониженные участки средней поймы представляет разнотравно-тростниковое сообщество. Мелкотравно-тростниковое сообщество сформировано на несколько повышенных участках поймы. Разнотравно-тростниково-веткиное сообщество занимает окраины средней поймы с аллювиально-луговыми почвами.

Тростник обыкновенный (*P. australis*) и ветка наземная (*C. epigeios*), являясь доминантами этих сообществ, принадлежат к мезогигрофитам, т.е. к растениям с более чем достаточным увлажнением. Сено с таких лугов, по данным Ларина И. В., отнесено к кормам среднего качества, обильные запасы его и хорошая поедаемость являются гарантией стабильного обеспечения кормами скота в зимний период для многих подворий района. Исходя из увлажненности вегетационного периода за счет атмосферных осадков годы исследований разделили на средние – сумма осадков за апрель-июнь > 90-110 % нормы, и засушливые < 90 % средней многолетней за апрель-июнь.

Как показал анализ (таблица 4), для длительно заливаемого сообщества (разнотравно-тростниковое) главным условием высокой урожайности является срок спада паводковых вод. Влияние атмосферных осадков в период вегетации проявляется незначительно. Максимальная урожайность сена (10,4-10,6 т/га) разнотравно-тростникового сообщества отмечена при сроках спада паводковых вод во второй декаде мая (2020, 2021 гг.). Длительное затопление до первой декады июня в условиях слабой проточности воды, прогревающей-

ся в среднем за сутки выше 17° , ведет к снижению урожайности (2018, 2023, 2024 гг.), деградации тростниковых лугов и замене тростника (*P. australis*) в травостое рогозом (*Typha*) и другими малоценными в кормовом отношении видами. Сокращение продолжительности паводкового затопления ведет также к резкому понижению урожайности сена до 4,3-4,2 т/га. Максимальная урожайность 7,5-7,6 т/га мелкотравно-тростникового сообщества отмечена в средние годы при спаде паводковых вод во 2 декаде мая. В засушливые годы недобор осадков за апрель-июнь более значительно сказывается на урожайности данного сообщества, чем предыдущего. Во влажные годы урожайность в два раза выше, чем в засушливые. Разница в урожайности разнотравно-тростниково-вейникового сообщества за счет сроков спада паводков в средние годы проявляется незначительно. Урожайность достигает при этом 5,1-5,3 т/га. В засушливые годы сбор сена колеблется от 2,6-4,5 т/га.

Таблица 4 – Сроки спада паводковых вод и колебания урожайности луговых сообществ в годы с различным атмосферным увлажнением

Table 4 – Timing of floodwaters decline and fluctuations in the yield of meadow communities in years with different atmospheric moisture

Год / year	Урожайность, т/га / Yield, t/ha			
	декада спада паводковых вод / flood waters decline	сообщество / community		
		разнотравно- тростниковое / motley grass – <i>Phragmites</i>	мелкотравно- тростниковое / smallgrass – <i>Phragmites</i>	разнотравно-тростниково- вейниковое / motley grass- <i>Phragmites</i> – <i>Calamagrostis</i>
средние по увлажнению годы / average year				
2019	2/V	8,7±0,44	7,5±0,41	5,2±0,27
2021	2/V	10,4±0,54	7,6±0,42	5,1±0,28
засушливые годы / dry year				
2018	3/V	4,3±0,24	3,0±0,16	2,6±0,13
2020	2/V	10,6±0,56	3,9±0,20	4,5±0,24
2022	2/V	9,7±0,49	4,8±0,26	3,3±0,17
2023	3/V	7,8±0,40	5,1±0,26	3,4±0,17
2024	3/V	4,2±0,21	2,9±0,15	2,8±0,15

Для сообществ, сформированных в условиях незаливаемой поймы или заливаемой не ежегодно и на короткий срок, основными источниками увлажнения являются грунтовые воды и атмосферные осадки.

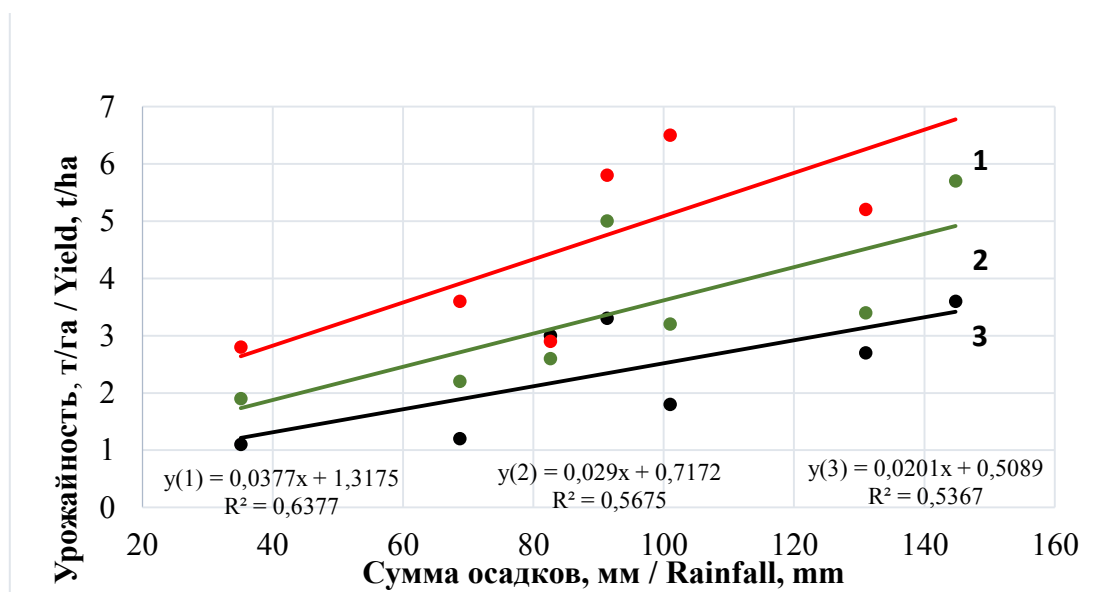


Рисунок 1 – Зависимость урожайности пырейных сообществ (1, 2, 3) от суммы осадков за вегетационный период на суходоле

Figure 1 – Dependence of yield of wheatgrass communities (1, 2, 3) on the amount of precipitation during the growing season on the dryland

Поверхностные и грунтовые воды в пойме формируют единую гидравлическую систему. Повышение воды в реке ведет к подъёму уровня грунтовых вод за счёт гидростатического давления, спад её не вызывает резкого их падения. Рассмотрено формирование урожайности пырейного сообщества на аллювиально-луговых почвах в зоне перехода от средней поймы к высокой. Доминантом данного сообщества является пырей ползучий (*E. repens*), который широко распространен в понижениях поймах рек, лиманах и является настоящим мезофитом, т.е. умеренно влажного местообитания. Растения имеют глубоко проникающую корневую систему. Корни активно следуют за капиллярной каймой почвенной влаги, которая в течение вегетационного периода постепенно опускается с уровнем грунтовых вод. Таким образом, намечается зависимость между урожайностью пырейного сообщества и уровнем грунтовых вод в весенний период, который может быть прогностическим признаком продуктивности такого типа сообществ. Некоторую поправку к урожайности вносят осадки в последующий период за третью декаду мая – вторую декаду июня, т.е. за период от начала колошения до конца цветения, когда у пырея отмечается максимальный прирост. Увеличение осадков от 15 до 38 мм при высоком уровне грунтовых вод дает прибавку урожая до 0,7 т/га. При низком уровне грунтовых вод за счет осадков (20 мм) урожайность увеличивается от 1,5 до 1,9 т/га.

При определении роли осадков в формировании урожайности пырейных сообществ на суходольных участках получена прямая зависимость урожайности сена от суммы осадков за апрель-июнь, которая выражается $r_1=0,79$; $r_2=0,73$; $r_3=0,52$. Коэффициент детерминации R – квадрат = 0,537, 0,567, 0,638 указывает на то, что 53,7-63,8 % дисперсии урожайности можно объяснить количеством осадков, а 36,2-46,3 % приходится на долю неучтенных факторов.

Заключение. Таким образом, основным прогностическим признаком урожайности лиманно-пойменных сенокосов в условиях засушливого климата является степень влагообеспеченности растений за вегетационный период применительно к каждому конкретному району. На ежегодно заливаемых паводками лугах прогностическим признаком урожайности могут служить сроки паводков и атмосферные осадки первой половины активной вегетации растений, причем при раннем спаде паводковых вод эффект от осадков отмечается наибольший. Для незаливаемых лугов или заливаемых не ежегодно и на короткий срок хорошим критерием урожайности служит уровень грунтовых вод на весенний период, а в качестве дополнительного – осадки критического периода от начала колошения до конца цветения злаков. В Волго-Ахтубинской пойме средняя урожайность сена в засушливые годы на заливаемых участках составляет от 3,3 т/га до 6,3 т/га, на суходольных от 2,0 т/га до 4,2 т/га. Полученная прямая зависимость урожайности луговой растительности на суходольных участках от суммы осадков показала, что на 1 единицу увеличения осадков урожайность увеличивается на 0,02-0,04 т/га в зависимости от видового состава сообществ.

Conclusions. Thus, the main prognostic sign of yield of estuary-floodplain hayfields under arid climate conditions is the degree of moisture availability of plants during the growing season for each specific area. In meadows flooded annually, the terms of floods and precipitation of the first half of active vegetation of plants can serve as a prognostic sign of yield, and the effect of precipitation is the greatest in case of early recession of flood waters. For non-flooded meadows or meadows flooded not annually and for a short period of time, the groundwater table for the spring period is a good yield criterion, and precipitation during the critical period from the beginning of earing to the end of flowering of cereals is an additional criterion. In the Volga-Akhtuba floodplain, the average hay yield in dry years on flooded plots ranges from 3.3 t/ha to 6.3 t/ha, on dryland plots from 2.0 t/ha to 4.2 t/ha. The obtained direct dependence of meadow vegetation yield on dryland plots on the amount of precipitation showed that per 1 unit of precipitation increase the yield increases by 0.02-0.04 t/ha depending on the species composition of communities.

Библиографический список

1. Зволинский В. П., Овчинников А. С., Яковлев С. В., Рыбашлыкова Л. П. Комплексный мониторинг водных биологических ресурсов водоемов Волго-Ахтубинской поймы: научно-методическое пособие. Солонное Займище, Волгоград: ФГБНУ «ПНИИАЗ»; ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2015. 79 с.
2. Лепеско В. В. Динамика биопродуктивного потенциала кормовых угодий Волго-Ахтубинской поймы. Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования: материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2017. Т. 1. С. 293-300.
3. Лазарев Н. Н., Тюлин В. А. Луговое кормопроизводство. Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2017. 140 с.
4. Пшеничникова Е. Н., Кроневальд Е. А. Качество сена – залог успешного ведения животноводства. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (164). С. 143-146.

5. Наушабаев А. Х., Базарбаев С. О., Анарханова У. Б. Оценка плодородия пойменных бурых луговых почв на пустынных пастбищах Жамбылской области. Наука и образование. 2022. № 2-1 (67). С. 158-167.
6. Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е., Шинкаренко С. С. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги. Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 4 (77). С. 3-18.
7. Голуб В. Б., Чувазов А. В., Бондарева В. В., Герасимова К. А., Николайчук Л. Ф. Изменения состава флоры Волго-Ахтубинской поймы после зарегулирования водного р. Волги. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 1 (82). С. 54-61.
8. Vlasenko M. V., Turko S. Yu. Comprehensive assessment of the effectiveness of the use of phytomeliorated hayfields in an arid floodplain ecosystem. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2024. V. 9. P. 100675.
9. Власенко М. В., Турко С. Ю., Рыбашлыкova Л. П. Эффективные технологии восстановления деградированных земель и создания высококачественных сенокосов в бассейне реки Дон. Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 5. С. 14-25.
10. Vlasenko M., Turko S. Proposals to reduce the impact of climatic anomalies on the productivity of hayfields in arid conditions. E3S Web of Conferences : II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023). Tashkent, 2023. V. 443. P. 05003.
11. Барашкова Н. В. и др. Продуктивность и средообразующий потенциал луговых фитоценозов в условиях среднетаежной подзоны Якутии. Новосибирск: Сибирское отделение Российской академии наук, 2020. 218 с.
12. Suchara I. The Impact of Floods on the Structure and Functional Processes of Floodplain Ecosystems. Journal of Soil and Plant Biology. 2019. No 1. Pp. 44-60.
13. Запывалов С. А. Влияние многовариантных систем длительного сенокосения на ботанический состав и качество кормов. Труды сельскохозяйственного института им. К. А. Тимирязева. 2021. № 5. С. 131-146.
14. Тебердиев Д. М., Родионова А. В., Запывалов С. А. Продуктивность и плодородие почвы сенокоса при долголетнем использовании. Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. С. 406-409.
15. Doussoulín Guzmán, Marcelo Alejandro, et al. Grassland phenology response to climate conditions in Biobio. Chile from 2001 to 2020, Rem. Sens. 2022. V. 475.
16. Tenaw G. W., Habte J. D., Climate change and its effects on vegetation phenology across ecoregions of Ethiopia, Global Ecol. Conserv. 2018. V. 13. e00366.
17. Насиев Б. Н. Использование смешанных посевов для заготовки кормов. Эффективное животноводство. 2020. № 5 (162). С. 96-98.
18. Лазарев Н. Н., Тюлин В. А., Стародубцева А. М. Экосистемы кормовых угодий. Москва, 2016. 143 с.

References

1. Zvolinsky V. P., Ovchinnikov A. S., Yakovlev S. V., Rybashlykova L. P. Comprehensive monitoring of water biological resources of water bodies of the Volga-Akhtuba floodplain: a scientific and methodological manual. Solenoe Zaymische, Volgograd: PNIIAZ, Volgograd State Agrarian University, 2015. 79 p.
2. Lepesko V. V. Dynamics of the Bioproductive Potential of Fodder Lands of the Volga-Akhtuba Poim. Ecological and Reclamation Aspects of Rational Nature Management: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2017. V. 1. Pp. 293-300.
3. Lazarev N. N., Tyulin V. A. Meadow fodder production. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2017. 140 p.
4. Pshenichnikova E. N., Kronevald E. A. Hay quality is the key to successful animal husbandry. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2018. № 6 (164). Pp. 143-146.
5. Naushabayev A. Kh., Bazarbayev S. O., Anarkhanova U. B. Fertility Assessment of Floodplain Brown Meadow Soils on Desert Pastures of Zhambyl Region. Science and Education. 2022. № 2-1 (67). Pp. 158-167.
6. Kuzmina Zh. V., Treshkin S. E., Shinkarenko S. S. Influence of river flow regulation and climate change on the dynamics of terrestrial ecosystems of the Lower Volga. Arid ecosystems. 2018. V. 24. № 4 (77). Pp. 3-18.
7. Golub V. B., Chuvashov A. V., Bondareva V. V., Gerasimova K. A., Nikolaychuk L. F. Changes in the Flora Composition of the Volga-Akhtuba Floodplain after Regulation of the Volga River Water. Arid ecosystems. 2020. V. 26. № 1 (82). Pp. 54-61.
8. Vlasenko M. V., Turko S. Yu. Comprehensive assessment of the effectiveness of the use of phytomeliorated hayfields in an arid floodplain ecosystem. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2024. V. 9. P. 100675.
9. Vlasenko M. V., Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. Effective Technologies for the Restoration of Degraded Lands and the Creation of High-Quality Hayfields in the Don River Basin. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. V. 23. № 5. Pp. 14-25.
10. Vlasenko M., Turko S. Proposals to reduce the impact of climatic anomalies on the productivity of hayfields in arid conditions. E3S Web of Conferences : II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023). Tashkent, 2023. V. 443. P. 05003.
11. Barashkova N. V., et al. Productivity and environment-forming potential of meadow phytocenoses in the conditions of the middle taiga subzone of Yakutia. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020. 218 p.
12. Suchara I. The Impact of Floods on the Structure and Functional Processes of Floodplain Ecosystems. Journal of Soil and Plant Biology. 2019. No 1. Pp. 44-60.
13. Zapivalov S. A. Influence of Multivariate Systems of Long-Term Haymaking on the Botanical Composition and Quality of Forage. Proceedings of the K. A. Timiryazev Agricultural Institute. 2021. № 5. Pp. 131-146.
14. Teberdiev D. M., Rodionova A. V., Zapivalov S. A. Productivity and Fertility of Haymaking Soil with Long-Term Use. Biosphere. 2022. V. 14. № 4. Pp. 406-409.
15. Doussoulín Guzmán, Marcelo Alejandro, et al. Grassland phenology response to climate conditions in Biobio. Chile from 2001 to 2020, Rem. Sens. 2022. V. 475.
16. Tenaw G. W., Habte J. D., Climate change and its effects on vegetation phenology across ecoregions of Ethiopia, Global Ecol. Conserv. 2018. V. 13. e00366.
17. Nasiev B. N. Use of mixed crops for fodder harvesting. Efficient animal husbandry. 2020. № 5 (162). Pp. 96-98.
18. Lazarev N. N., Tyulin V. A., Starodubtseva A. M. Ecosystems of fodder lands. Moscow, 2016. 143 p.

Информация об авторах

Рыбашлыкова Людмила Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3675-6243>, e-mail: rybashlykova-l@vfanc.ru

Турко Светлана Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2546-4755>, e-mail: turkosvetlana73@mail.ru

Authors' information

Rybashlykova Ludmila Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3675-6243>, e-mail: rybashlykova-l@vfanc.ru

Turko Svetlana Yurievna, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2546-4755>, e-mail: turkosvetlana73@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-18

THE FORMATION OF THE MICROCLIMATE INDICATORS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE FIELD-PROTECTIVE FOREST BELTS ON LIGHT CHESTNUT SOILS**Sarychev A. N., Reznikova O. V., Fedorova A. A., Egorov A. V.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*Corresponding author E-mail: zeit1@yandex.ru

Received 12.03.2025

Submitted 05.05.2025

Abstract

Introduction. Sustainable balanced agricultural production can only be carried out in full compliance with all technological operations and agricultural practices. In arid conditions and in regions with a high probability of deflationary and erosion processes, along with agronomic methods, it is necessary to introduce agroforestry measures. Since the complex application of all soil protection measures ensures the effective functioning of agrophytocenoses and guaranteed yields of agricultural crops. **Object.** The object of research is field agrophytocenoses with protective forest plantations. **Materials and methods.** The studies were carried out on an experimental plot on land use by the individual entrepreneur Head of the farm Sarychev N. N. in the Kotelnikovskiy district of the Volgograd region, related observations were carried out according to the methods of VIR and the State Variety Testing of Agricultural Crops. **Results and conclusions.** In the subzone of light chestnut soils, studies were carried out to study the effect of field-protective forest belts on the formation of microclimate indicators in the inter-strip space and the productivity of crops. It was found that in the zone of influence of forest belts at a distance of up to 15 N, microclimate indicators, such as wind speed, temperature regime, air humidity, soil moisture reserves, snow deposition and snow accumulation have more optimal values for the growth and development of crops compared to the agrolandscape without field-protective forest plantations. The weighted average yield of agricultural crops in agrophytocenosis with protective forest plantations is higher by 15-28.9 % compared to the control variant without field-protective forest belts.

Keywords: *field-protective forest belts, winter wheat cultivation, soil conditions for winter wheat cultivation, dry farming system.*

Citation. Sarychev A. N., Reznikova O. V., Fedorova A. A., Egorov A. V. The formation of the microclimate indicators in the zone of influence of the field-protective forest belts on light chestnut soils. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 170-178 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-18.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630.181:633.1

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОКЛИМАТА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ

Сарычев А. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Резникова О. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Федорова А. А., аспирант
Егоров А. В., аспирант

*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Устойчивое сбалансированное сельскохозяйственное производство возможно осуществлять только при полном соблюдении всех технологических операций и агроприемов. В аридных условиях и в регионах с высокой вероятностью дефляционных и эрозионных процессов

наряду с агротехническими приемами необходимо внедрение агролесомелиоративных мероприятий, поскольку комплексное применение всех почвозащитных мероприятий обеспечивает эффективное функционирование агрофитоценозов и гарантированное получение урожаев сельскохозяйственных культур. **Объект.** Объектом исследований являются полевые агрофитоценозы с защитными лесными насаждениями. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном участке на землепользовании ИП Глава К(Ф)Х Сарычев Н. Н. в Котельниковском районе Волгоградской области, сопутствующие наблюдения проведены согласно методикам ВИР и Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур. **Результаты и выводы.** В подзоне светло-каштановых почв проведены исследования по изучению влияния полоса защитных лесных насаждений на формирование показателей микроклимата на межполосном пространстве и продуктивность сельскохозяйственных культур. Было установлено, что в зоне влияния лесных полос на расстоянии до 15 м показатели микроклимата, такие как скорость ветра, температурный режим, влажность воздуха, почвенные запасы влаги, снеготопление и снегонакопление, имеют более оптимальные значения для роста и развития сельскохозяйственных культур по сравнению с агроландшафтом без защитных лесных насаждений. Средневычисленная урожайность сельскохозяйственных культур в агрофитоценозе с защитными лесными насаждениями выше на 15-28,9 % по сравнению с контрольным вариантом без ПЗЛН.

Ключевые слова: *полоса защитных лесных насаждений, возделывание озимой пшеницы, почвенные условия возделывания озимой пшеницы, система сухого земледелия.*

Цитирование. Сарычев А. Н., Резникова О. В., Федорова А. А., Егоров А. В. Формирование показателей микроклимата в зоне влияния полоса защитных лесных насаждений на светло-каштановых почвах. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 170-178. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-18.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В 80-х годах прошлого столетия для Волгоградской области была разработана «Система сухого земледелия Волгоградской области» которая позволила повысить продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях недостаточного увлажнения. Разработанная система является актуальной и по настоящее время, поскольку на территории Волгоградской области неблагоприятные условия в виде засух, суховея, водной эрозии и дефляции почвы, дефицита осадков, почвенной влаги, низкого содержания элементов питания приводят к значительным недоборам урожая сельскохозяйственных культур. Кроме влияния на продуктивность растений эти факторы и сельскохозяйственная деятельность оказывают непосредственное влияние на почвенный покров, тем самым снижая ежегодно его плодородие. Система сухого земледелия включает в себя целый комплекс мероприятий, который обеспечивает гарантированное получение урожая в сложных почвенно-климатических условиях: адаптированные элементы технологии возделывания сельскохозяйственных растений, система машин и орудий, оросительные и осушительные мелиорации, лесомелиоративное обустройство территории, охрану природы. Исследованиями отечественных и зарубежных ученых было установлено, что эффективность всех заложенных мероприятий в систему земледелия в разы увеличивается при их комплексном применении, тем самым обеспечивая стабильное функционирование агрофитоценоза [1, 8].

Волгоградская область относится к регионам с повышенным уровнем активности водной эрозии и дефляции почв, поэтому одним из главных мелиоративных приемов в системе земледелия является лесомелиоративное обустройство агроландшафтов, поскольку полоса защитных лесных насаждений обладают высокой эффективностью противодействия этим процессам деградации. Исследования отечественных ученых доказывают, что агроценозы с системой защитных насаждений обладают большей устойчивостью к неблагоприятным погодным условиям и явлениям [4, 10]. Прежде всего полоса защитных лесных насаждений оказывают влияние на показатели температуры воздуха, почвы, влажности воздуха и другие метеорологические показатели [5, 6, 9]. В районах с интенсивной дефляцией почвенного покрова лесные насаждения сокращают или полностью предотвращают снос верхнего плодородного слоя почвы [2], а в зимний период обеспечивают снегозадержание на полях, тем самым формируя дополнительный запас влаги в почве [11]. В результате этого урожайность полевых культур на облесенном агроландшафте выше по сравнению с полями без лесных насаждений [3, 7, 12].

Подзона светло-каштановых почв является зоной с низким почвенным плодородием и сложными климатическими условиями, поэтому сохранение почвенного плодородия и обеспечение сельскохозяйственных растений дополнительной влагой является актуальной задачей, решение которой позволит сельхозтоваропроизводителям получать гарантированные урожаи даже в экстремально засушливые годы.

Для этого необходимо проводить мониторинг состояния почвенного плодородия, учет показателей микроклимата на межполосном пространстве, внедрять ресурсосберегающие, почвозащитные технологии обработки почвы.

Для изучения влияния полезащитных насаждений в комплексе с агротехническими приемами на функционирование агрофитоценозов в 2007 году был заложен стационарный полевой опыт в Котельниковском районе Волгоградской области.

Цель работы заключается в изучении особенностей функционирования полевых агролесокмплексов на светло каштановых почвах, выявлении закономерностей формирования микроклиматических показателей, продуктивности сельскохозяйственных культур на лесомелиорируемом пространстве.

Исследования велись по следующей схеме:

Фактор А. Агрофитоценоз. 1. Вариант. Защищенный ПЗЛП; 2. Вариант. Без защитных насаждений.

Фактор Б. Технологии обработки почвы в агрофитоценозе. 1. Вариант. Отвальная вспашка 0,20-0,22 м; 2. Вариант. Мелкое плоскорезное рыхление 0,10-0,12 м; 3. Вариант. Дискование 0,10-0,12 м; 4. Вариант. Комбинированная обработка почвы 0,14-0,16 м с щелеванием на 0,25-0,27 м.

Агрофитоценоз представлен трехпольным зернопаровым севооборотом, состоящим из пара чистого, озимой пшеницы и ярового ячменя.

Контрольные площадки для отбора проб почвы, образцов растений, микроклиматических показателей были расположены на удалении 1,5, 5, 10, 15, 25 и 35 высот (Н) с заветренной стороны от ПЗЛП и на 1,5, 5, 10, 15 высот с наветренной стороны от ПЗЛП.

Для получения данных использовались общепринятые методики отбора и анализа проб растений и почвенных образцов.

Определение влажности почвы проводили термостатно-весовым методом в трехкратной повторности. Отбор проб вели почвенным буром через 10 см до глубины 1 м. Отбор проводили в 4 периода: перед посевом, в фазу кущения, выход в трубку-колошение, перед уборкой культуры.

Отбор проб растений проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. На фиксированных площадках с помощью рамок площадью 0,25 м² (50х50 см) отбирались снопы растений в трехкратной повторности в фазы кущения, колошения и полной спелости. Оценивались элементы структуры, определяющие величину урожая (число стеблей, в т.ч. продуктивных, размер колоса, число зерен в колосе, масса 1000 зерен, высота растений, натура зерна и его качество).

Результаты обрабатывались методами математической статистики.

Метеорологические данные брались с ближайшей метеостанции, расположенной в г. Котельниково в 32 км от места проведения исследований в юго-западном направлении, микроклиматические на контрольных участках с помощью лабораторных приборов.

Результаты и обсуждение. Основными лимитирующими факторами в подзоне светло-каштановых почв являются наличие доступной влаги и достаточное количество осадков во время вегетации сельскохозяйственных культур. Исходя из полученных данных с метеостанции, а также мониторинга микроклиматических показателей на стационарном объекте за 17 лет исследований вегетационные периоды 2010, 2013, 2015, 2024 годов являются острозасушливыми, несмотря на то, что суммарное количество осадков за год превышает среднегодовые показатели (рисунок 1). Тем не менее неравномерное распределение осадков и их отсутствие в критические фазы развития сельскохозяйственных культур привело к значительному снижению урожайности.

Исследования показали, что полезащитные лесные полосы оказывают влияние на целый ряд микроклиматических показателей в пределах межполосного пространства: температуру воздуха, влажность воздуха, температуру почвы, скорость ветрового потока, высоту снежного покрова, снеготопы и содержание доступной влаги в метровом слое почвы.

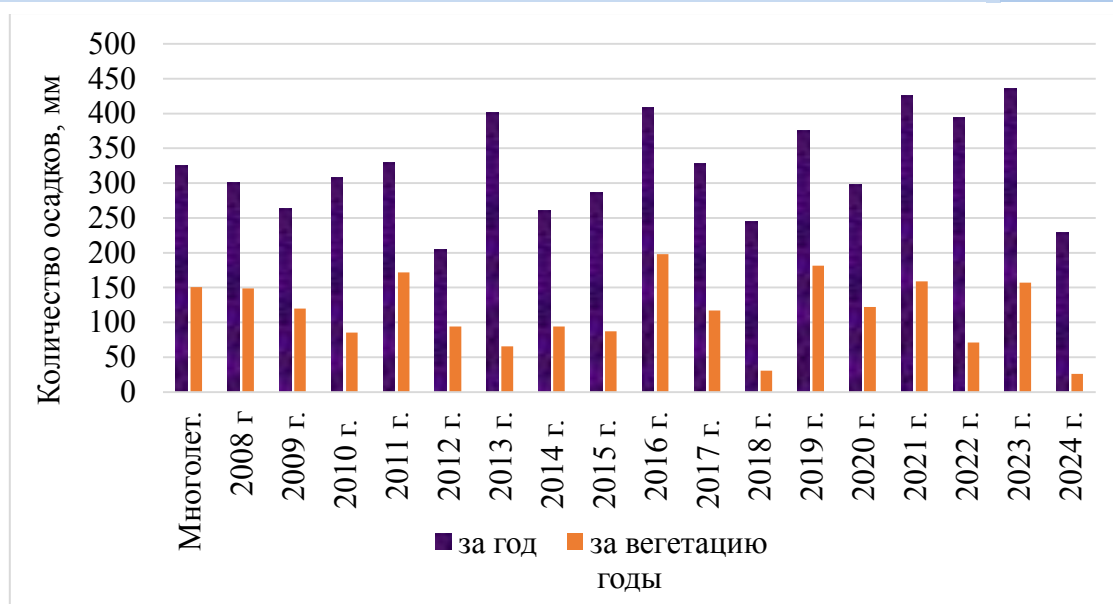
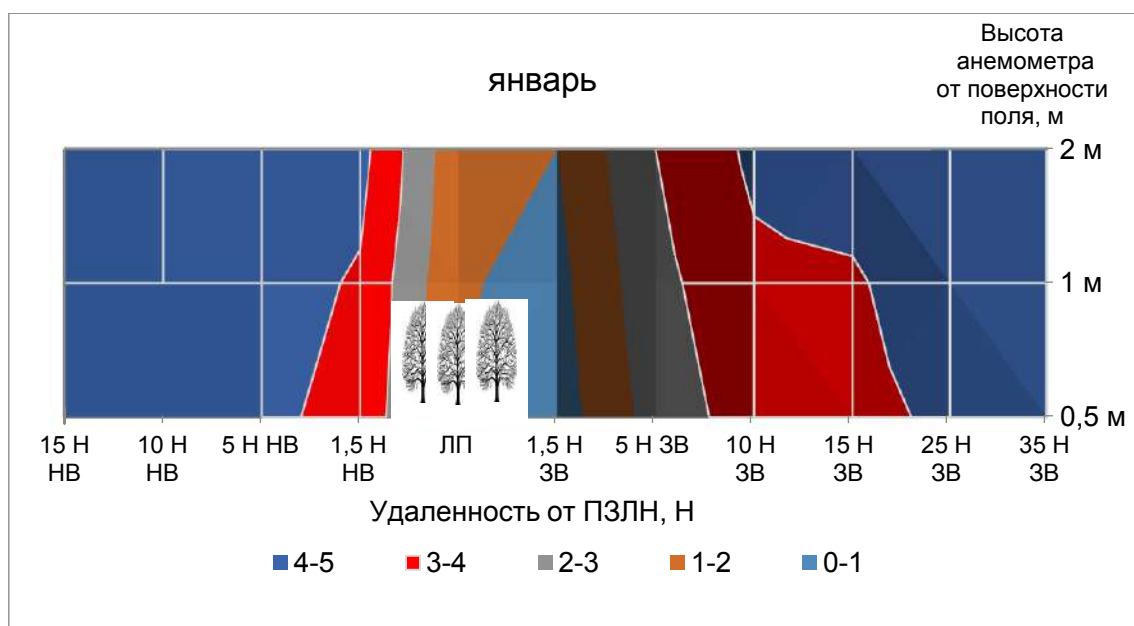


Рисунок 1 – Количество осадков, выпавших во время вегетации и за год, в 2008-2024 гг., мм
Figure 1 – Amount of precipitation during the growing season and per year, in 2008-2024, mm

Анализ показателей микроклимата на межполосном пространстве свидетельствует о том, что на межполосном пространстве наибольшее влияние полезащитных лесных полос распространяется на расстояние до 20 высот (Н) от полезащитной лесной полосы с заветренной стороны и до 10 высот с наветренной (таблица 1).

Прежде всего, почвозащитная функция лесных полос заключается в снижении ветрового потока для предотвращения дефляции. Исследования показали, что даже при отсутствии листвы на деревьях происходит снижение скорости ветра. (рисунок 2) На высоте 2 м от поверхности почвы наибольшее снижение скорости отмечается на расстоянии до 15 Н с заветренной стороны и составляет от 79,6 % на расстоянии 1,5 Н до 10,2 % на расстоянии 15 Н от скорости ветра на территории без защитных насаждений. С наветренной стороны скорость ветра начинает снижаться на расстоянии от 15 Н, но значения процентного снижения ниже, чем с заветренной стороны. Так, на расстоянии 15 Н от лесной полосы скорость ветрового потока меньше на 4 % от контроля, а на расстоянии 1,5 Н его величина ниже на 12,2 %.



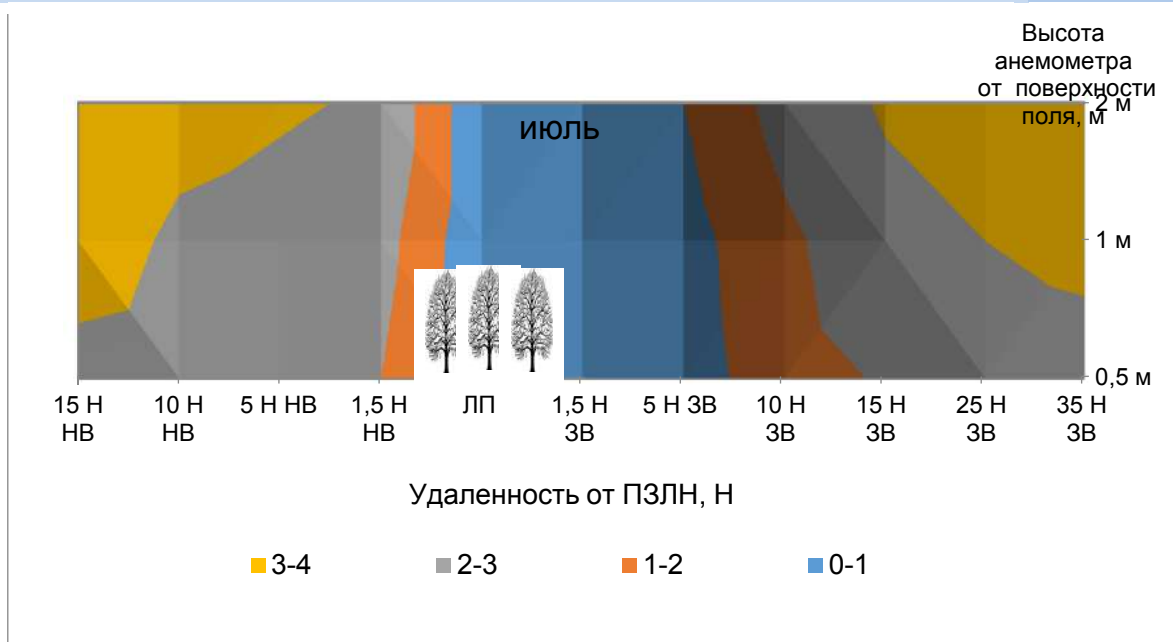


Рисунок 2 – Скорость ветра на межполосном пространстве в зависимости от облиственности полезащитных лесных насаждений

Figure 2 – Wind speed in the inter-strip space depending on the foliage of field-protective forest plantations

В облиственном состоянии полезащитные насаждения обладают более высокой степенью по снижению скорости ветра. Как показали исследования, ветровой поток на высоте 2 метра от поверхности с наветренной стороны на расстоянии 1,5-10 Н от ПЗЛН уменьшается на 13,5-21,6 %, а с заветренной стороны на удалении от защитных насаждений 1,5Н-15 Н сокращается на 16,2-91,9 %. Тем самым обеспечивается снижение вероятности возникновения дефляционных процессов, которые приводят к потере плодородного слоя почвы.

Анализ температурного режима показал, что он имеет определенные особенности на межполосном пространстве. С наветренной стороны средняя температура за время вегетации выше, чем с заветренной, что связано, прежде всего, с тем, что данная зона начинает прогреваться с раннего утра, температура воздуха в этой зоне варьирует от 21,03 до 21,47 °С. С заветренной стороны по мере удаления от лесной полосы происходит снижение температуры воздуха, наиболее высокая температура воздуха на межполосном пространстве отмечается на расстоянии до 1,5 Н - 21,13-21,47 °С. На контрольном участке без защитных насаждений температура воздуха была самой низкой и составила в среднем 20,38 °С.

Относительная влажность воздуха наиболее высокой была непосредственно в лесной полосе 57,8 %, с заветренной стороны на расстоянии до 10 Н 51,8-54,7, с наветренной стороны до 5 Н 51,1-52,9 %.

Лесные полосы оказывают значительное влияние на формирование водного режима в пределах межполосного пространства, это особенно заметно по особенностям снегоотложения. Наибольшая высота снежного покрова формируется на расстоянии от 10 Н с наветренной стороны до 15 Н с заветренной стороны (рисунок 3), высота снежного покрова начинает увеличиваться по мере приближения к ПЗЛН. На контрольном участке без защитных насаждений средняя глубина снега составила за 17 лет исследований 12,3 см, то в зоне наибольшего мелиоративного влияния ПЗЛН она варьирует от 18,3 до 50,8 см. В результате такого характера снегоотложения формируется снегозапас различного объема. На поле без защитных насаждений он составляет 27,6 мм, с наветренной стороны на расстоянии 10-1,5 Н 43,2-122,3 мм, с заветренной стороны на расстоянии 1,5-15 Н 118,0-47,0 мм. Больше всего снегозапас аккумулируется непосредственно в самой лесной полосе, однако на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур влияния он не оказывает, а идет для обеспечения влагой деревьев во время вегетации.

Таблица 1 – Микроклиматические показатели на лесомелиорируемой территории и урожайность озимой пшеницы, в среднем за 2008-2024 гг.

Table 1 – Microclimatic indicators in the forested area and winter wheat yield, on average for 2008-2024

Удаленность от ПЗЛН, Н* / Distance from the field-protective forest plantations, N*	Температура воздуха в среднем за вегетационный период, °C / Average air temperature for the growing season, °C	Влажность воздуха в среднем за вегетационный период, % / Average air humidity for the growing season, %	Высота снежного покрова, см / Snow cover height, cm	Снегозапас, мм / Snow capacity, mm	Среднее содержание доступной влаги в метровом слое почвы в среднем за вегетационный период, мм / Average content of available moisture in a meter layer of soil on average for the growing season, mm	Урожайность озимой пшеницы, т/га / Winter wheat yield, t/ha
Без ПЗЛН / Without the field-protective forest plantations	20,38	48,1	12,3	27,6	70,7	1,88
15 Н НВ* / 15 H windward side	20,80	48,3	15,7	36,7	75,2	2,08
10 Н НВ / 10 H windward side	21,03	49,4	18,3	43,2	80,4	2,19
5 Н НВ / 5 H windward side	21,33	51,1	24,5	62,2	82,4	2,34
1,5 Н НВ / 1,5 H windward side	21,47	52,9	45,8	122,3	61,3	1,18
ЛП / forest belts	20,40	57,8	50,8	137,7	50,3	-
1,5 Н ЗВ / 1,5 H Winding side	21,13	54,7	43,4	118,0	69,5	1,26
5 Н ЗВ* / 5 H Winding side	21,00	53,3	35,8	95,9	90,4	2,42
10 Н ЗВ / 10 H Winding side	20,97	51,8	32,6	83,8	85,9	2,31
15 Н ЗВ / 15 H Winding side	20,68	50,6	19,6	47,0	81,2	2,14
25 Н ЗВ / 25 H Winding side	20,73	49,2	16,3	38,6	77,0	2,02
35 Н ЗВ / 35 H Winding Side	20,65	48,3	15,8	37,0	73,4	1,95
Без ПЗЛН / Without the field-protective forest plantations	20,38	48,1	12,3	27,6	70,7	1,88
Средневзвешенная на МПП* / Weighted average for inter-lane space	20,98	50,96	26,78	68,49	77,68	2,18

*ПЗЛН – полевые защитные лесные насаждения, Н - высота полевых защитных насаждений, МПП – межполосное пространство, НВ – наветренная сторона от ПЗЛН, ЗВ – заветренная сторона от ПЗЛН.

*PLN – field-protective forest plantations, H – height of field-protective plantations, MPP – inter-lane space, NW – windward side from PZLN, ZV – winding Side from PZLN.

В прямой зависимости от снегоотложения на межполосном пространстве находятся почвенные влагозапасы. В среднем в зависимости от года исследований и удаленности от лесной полосы они выше на 8-40 мм, по сравнению с полем без насаждений. Наибольшие запасы доступной влаги для растений в среднем за вегетацию озимой формируются на

расстоянии от 10 Н с наветренной стороны до 15 Н с заветренной стороны и варьируют от 80,5 до 90,4 мм. В поле без защитных насаждений они в среднем составили 70,7 мм. В зоне мелиоративного влияния ПЗЛН исключение составляет зона, расположенная на расстоянии 1,5 Н от ПЗЛН, как с наветренной, так и с заветренной стороны, среднее содержание доступной влаги в ней составляет за вегетацию 61,3-69,5 мм. Такое содержание обусловлено потреблением влаги из почвы корневой системой деревьев, которая может распространяться в глубину поля на расстояние до 20 м, что в последствие влияет на продуктивность сельскохозяйственных растений.

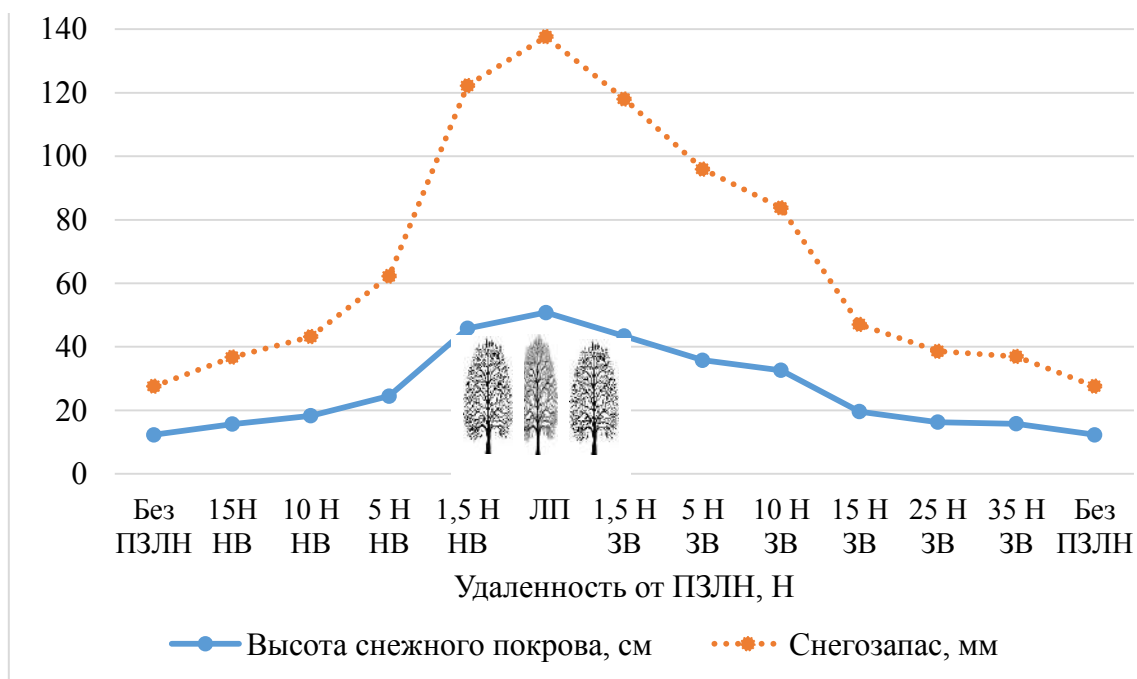


Рисунок 2 – Высота снежного покрова и снегозапас на межполосном пространстве в среднем за 2008-2024 гг.

Figure 2 – Snow depth and snow stock in the inter-lane space on average for 2008-2024

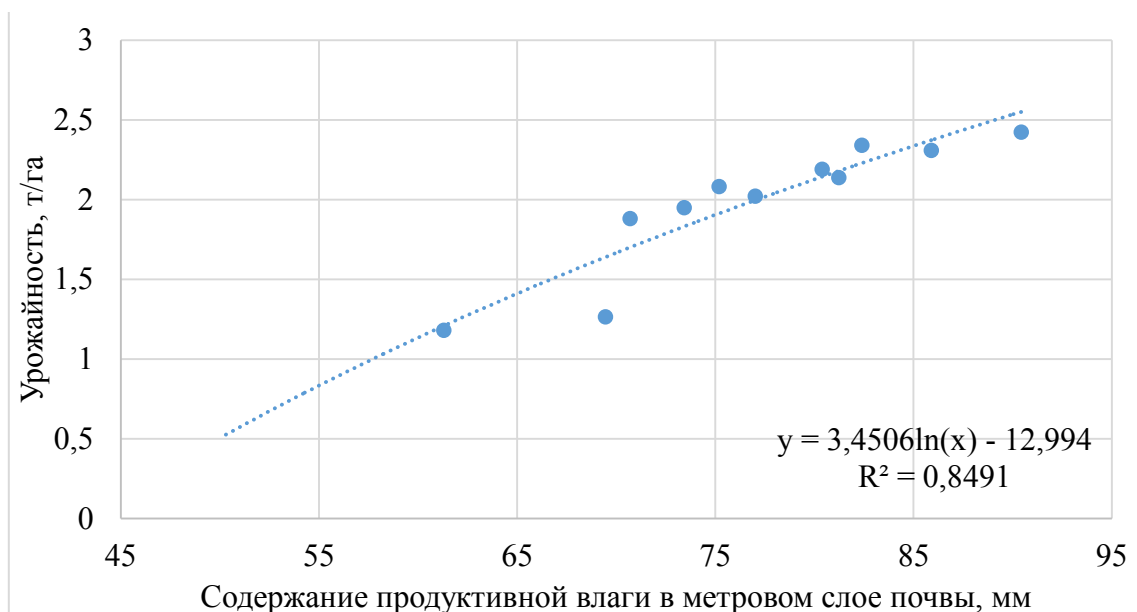


Рисунок 3 – Зависимость урожайности озимой пшеницы на межполосном пространстве от запаса доступной влаги в метровом слое почвы

Figure 3 – Dependence of winter wheat yield in the inter-strip space on the stock of available moisture in the meter layer of soil

Анализ зависимости продуктивности озимой пшеницы за период с 2008 по 2024 гг. показал тесную связь между урожайностью и содержанием продуктивной влаги в почве, которая описывается уравнением логарифмической зависимости $y = 3,4506\ln(x) - 12,994$ с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,8491$. В зонах наибольшего влияния ПЗЛП (10-5 Н НВ и 5-15 НЗВ) сформировалась самая высокая урожайность, в среднем за 2008-2024 г. она составила 2,14-2,42 т/га, а на контрольном варианте – 1,88 т/га. (рисунок 4)

Заключение. Анализ полученных данных в результате многолетних исследований показал, что полезащитные лесные полосы являются инструментом, позволяющим регулировать микроклимат в агрофитоценозе, тем самым создавая для сельскохозяйственных культур оптимальные условия для роста, развития и формирования урожая, даже в экстремальные по метеорологическим условиям годы. В сельскохозяйственном производстве необходимо учитывать ширину зоны мелиоративного влияния, которая составляет 10 высот с наветренной стороны и до 20 высот с заветренной стороны. Урожайность полевых культур находится в тесной зависимости от условий влагообеспеченности, которые в свою очередь на межполосном пространстве зависят от удаленности от полезащитных лесных насаждений за счет зимнего снегонакопления, снижения непродуктивного испарения. Агрофитоценоз, который находится под защитой полезащитных насаждений позволяет получить более высокую урожайность на 15-28,9 % по сравнению с агроценозом без защитных насаждений.

Conclusions. The analysis of the data obtained as a result of many years of research has shown that shelterbelts are a tool that allows regulating the microclimate in agrophytocenosis, thereby creating optimal conditions for crops for growth, development and crop formation, even in extreme meteorological years. In agricultural production, it is necessary to take into account the width of the zone of reclamation influence, which is 10 heights on the windward side and up to 20 heights on the windward side. The yield of field crops is closely dependent on the conditions of moisture supply, which, in turn, in the inter-strip space depend on the distance from field-protective forest plantations due to winter snow accumulation and reduction of unproductive evaporation. Agrophytocenosis, which is under the protection of field-protective plantations, allows to obtain a higher yield by 15-28.9 % compared to agroecocenosis without protective plantations.

Библиографический список

1. Есков Д. В. Закономерности воздействия конструкций лесных полос и удобрений на микроклимат и урожайность яровой пшеницы на южном черноземе. Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 12-18.
2. Кадамов А., Икромов И. И. Влияние полезащитных лесных полос на ветровую эрозию и урожайность картофеля в условиях долины Вахан ГБАО. Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 4 (46). С. 23-28.
3. Манаенков А. С., Подгаецкая П. М., Попов В. С. Влияние полезащитных лесных полос на развитие яровой пшеницы в приопушечной зоне посевов. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2023. Т. 78. № 4. С. 97-106.
4. Марданов В. А., Семенова С. Н., Семенова А. Н. Мелиоративное влияние полезащитных лесных полос Абинского района Краснодарского края. Тенденции развития науки и образования. 2023. № 104-15. С. 46-49.
5. Мельник О. А. Влияние полезащитных лесных полос на показатели микроклимата агроэкосистемы. Экологический Вестник Северного Кавказа. 2024. Т. 20. № 3. С. 128-132.
6. Михин Д. В. Микроклимат и биопродуктивность сельхозкультур в системе лесных полос. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 4 (39). С. 309-313.
7. Panfilov A. V., Popov V. G., Proezdov P. N. et al. The yield of spring wheat depending on the designs of forest strips in the steppe of the Volga Upland. Actual problems of the forest complex. 2023. No. 63. Pp. 3-6.
8. Проездов П. Н., Тарбаев В. А., Тарасенко П. В. и др. Факторный анализ урожайности яровой пшеницы под влиянием погоды, лесных полос и удобрений в сухостепном Заволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5 (77). С. 34-45.
9. Поташкина Ю. Н., Иванцова Е. А. Влияние полезащитных лесных насаждений на микроклимат агроландшафта в сухостепной зоне каштановых почв. Природные системы и ресурсы. 2023. Т. 13. № 2. С. 5-14.
10. Примаков Н. В. Влияние полезащитных лесных полос на состояние агроландшафтов. Леса России и хозяйство в них. 2024. № 2 (89). С. 89-95.
11. Сунгатуллин З. Р., Хисамутдинова А. Н., Тимерьянов А. Ш. Влияние полезащитных полос на снегозадержание и урожайность сельскохозяйственных культур. Вестник науки. 2024. Т. 1. № 4(73). С. 643-651.
12. Хамадеев А. Р., Сорокин Н. С. Зависимость влияния лесных полос на урожайность сельскохозяйственных культур. Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. 2019. № 12(24). С. 78-83.

References

1. Eskov D. V. Regularities of the Impact of Forest Belts and Fertilizer Structures on the Microclimate and Yield of Spring Wheat on the Southern Black Earth. Advances in modern natural science. 2022. № 5. Pp. 12-18.
2. Kadamov A., Ikromov I. I. Influence of Protective Forest Belts on Wind Erosion and Potato Yield in the Wakhan Valley of GBAO. Reports of the Tajik Academy of Agricultural Sciences. 2015. № 4 (46). Pp. 23-28.
3. Manaenkov A. S., Podgaetskaya P. M., Popov V. S. Influence of Field-Protective Forest Belts on the Development of Spring Wheat in the Edge Zone of Crops. Proceedings of Moscow University. Series 5: Geography. 2023. V. 78. № 4. Pp. 97-106.

4. Mardanov V. A., Semenova S. N., Semenova A. N. Reclamation Influence of Field-Protective Forest Belts of the Abinsk District of the Krasnodar Territory. Trends in the development of science and education. 2023. № 104-15. Pp. 46-49.
5. Melnik O. A. Influence of Field-Protective Forest Belts on Agroecosystem Microclimate Indicators. Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2024. V. 20. № 3. Pp. 128-132.
6. Mikhin D. V. Microclimate and Bioproductivity of Agricultural Crops in the System of Forest Belts. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2013. № 4 (39). Pp. 309-313.
7. Panfilov A. V., Popov V. G., Proezdov P. N. et al. The yield of spring wheat depending on the designs of forest strips in the steppe of the Volga Upland. Actual problems of the forest complex. 2023. No. 63. Pp. 3-6.
8. Proezdov P. N., Tarbaev V. A., Tarasenko P. V., et al. Factor Analysis of Spring Wheat Yield under the Influence of Weather, Forest Belts and Fertilizers in the Dry Steppe Trans-Volga Region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. № 5 (77). Pp. 34-45.
9. Potashkina Y. N., Ivantsova E. A. Influence of Field-Protective Forest Plantations on the Microclimate of the Agrolandscape in the Dry Steppe Zone of Chestnut Soils. Natural systems and resources. 2023. V. 13. № 2. Pp. 5-14.
10. Primakov N. V. Influence of Protective Forest Belts on the State of Agrolandscapes. Forests of Russia and economy in them. 2024. № 2 (89). Pp. 89-95.
11. Sungatullin Z. R., Khisamutdinova A. N., Timeryanov A. Sh. Influence of Shelterbelts on Snow Retention and Yield of Agricultural Crops. Bulletin of Science. 2024. V. 1. № 4 (73). Pp. 643-651.
12. Khamadeev A. R., Sorokin N. S. Dependence of the influence of forest belts on the yield of agricultural crops. Science and Education: Problems, Ideas, Innovations. 2019. № 12(24). Pp. 78-83.

Информация об авторах

Сарычев Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: zeit1@ya.ru

Резникова Оксана Вениаминовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: oksana.reznikova@yandex.ru

Федорова Алена Анатольевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: alena_fedorova2015@mail.ru

Егоров Александр Викторович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: egorov-a@vafanc.ru

Authors' Information

Sarychev Aleksander Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: zeit1@ya.ru

Reznikova Oksana Veniaminovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: oksana.reznikova@yandex.ru

Fedorova Alena Anatolyevna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: alena_fedorova2015@mail.ru

Egorov Aleksander Viktorovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: egorov-a@vafanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-19

THE DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK BINARY CLASSIFICATION ALGORITHM FOR MAPPING WEEDS AND THEIR DISTRIBUTION CENTERS**Tokarev K. E., Melikhova E. V., Rogachev A. F., Fomin S. D.**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: tokarevke@yandex.ru

Received 21.03.2025

Submitted 12.05.2025

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-21-20019, <https://rscf.ru/project/25-21-20019> / and the Volgograd region.

Abstract

Introduction. The article is devoted to the problems of mapping weeds and their distribution centers using binary classification algorithms, computer vision and convolutional neural networks. **Object.** The object of the study is the mapping of weeds and their distribution centers in annual field crops using artificial intelligence (AI) algorithms, in particular binary classification. **Materials and methods.** To develop a neural network binary classification algorithm for weed vegetation mapping, methods of manual and automated image annotation (markup), augmentation algorithms (color and geometric transformations), as well as machine learning and performance evaluation using relevant metrics were used. **Results and conclusions.** During the study, a dataset was formed containing RGB color images of corn crops in the stages of leaf development and tillering, as well as grouped into three samples (training, validation, and test). The data set was augmented using geometric and color transformations. A neural network model in the Python language has been implemented, which allows using a pre-trained neural network with convolutional layers for binary classification of color images of corn crops, with the allocation of classes "cultivated plant (corn)" and "weed plant".

Keywords: artificial artificial neural networks, binary classification, weed mapping, weeds, annual crops.

Citation. Tokarev K. E., Melikhova E. V., Rogachev A. F., Fomin S. D. The development of a neural network binary classification algorithm for mapping weeds and their distribution centers. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 178-186 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-19.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 632.51:004

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НЕЙРОСЕТЕВОЙ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЧАГОВ ЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Токарев К. Е., кандидат экономических наук, доцент

Мелихова Е. В., доктор технических наук, доцент

Рогачев А. Ф., доктор технических наук, профессор

Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-20019, <https://rscf.ru/project/25-21-20019/> и Волгоградской области.

Актуальность. Статья посвящена проблемам картирования сорной растительности и очагов ее распространения с применением алгоритмов бинарной классификации, компьютерного зрения и сверточных нейронных сетей. **Объект.** Объектом исследования является картирование сорной растительности и очагов ее распространения на посевах однолетних полевых культур алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ), в частности бинарной классификации. **Материалы и методы.** Для разработки алгоритма нейросетевой бинарной классификации для картирования сорной растительности использованы методы ручной и автоматизированной аннотации (разметки) изображений, алгоритмы аугментации (цветовые и геометрические преобразования), а также машинного обучения и оценки производительности с использованием релевантных метрик. **Результаты и выводы.** В ходе исследования сформирован набор данных (dataset), содержащий цветные RGB-изображения посевов кукурузы, находящихся в стадиях развития листьев и кущения, а также сгруппированные по трем выборкам (обучающая, валидационная и тестовая). Осуществлена аугментация набора данных с использованием геометрических и цветовых преобразований. Реализована нейросетевая модель на языке Python, позволяющая использовать предобученную нейронную сеть со сверточными слоями для бинарной классификации цветных изображений посевов кукурузы, с выделением классов «культурное растение (кукуруза)» и «сорное растение».

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, бинарная классификация, картирование сорной растительности, сорная растительность, посевы однолетних культур.

Цитирование. Токарев К. Е., Мелихова Е. В., Рогачев А. Ф., Фомин С. Д. Разработка алгоритма нейросетевой бинарной классификации для картирования сорной растительности и очагов ее распространения. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 178-186. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-19.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В современном растениеводстве в условиях точного земледелия оперативное обнаружение, локализация и борьба с сорной растительностью являются одной из приоритетных задач, влияющих на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Алгоритмы ИИ предлагают широкий набор цифровых инструментов для решения задач распознавания сорняков, открывая возможность использовать более эффективные, экологичные и экономически выгодные методы борьбы с ними.

Постановка проблемы и ее актуальность. Традиционные методы борьбы с сорной растительностью, базирующиеся на применении гербицидов, часто приводят к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья человека (рисунок 1). В связи с этим разработка и внедрение интеллектуальных систем, способных точно и избирательно распознавать сорную растительность на посевах однолетних полевых культур, становятся все более актуальными.



Рисунок 1 – Классические способы борьбы с сорной растительностью

Figure 1 – Classic methods of weed control

Сорная растительность конкурирует с культурными растениями за ресурсы (свет, воду, питательные вещества), снижая их продуктивность и качество урожая. Неизбирательное применение гербицидов приводит к загрязнению почвы и воды, уничтожению полезных насекомых и развитию устойчивости сорняков к химическим веществам.

Разработка интеллектуальных систем, способных различать культурные растения и сорняки на основе анализа изображений, позволяет:

1. Сократить использование гербицидов – точное распознавание сорняков позволяет применять гербициды только в необходимых местах, минимизируя их общее количество.
2. Повысить эффективность борьбы с сорняками – использование роботизированных систем, оснащенных алгоритмами ИИ, позволяет проводить точечную обработку сорняков, обеспечивая более эффективное их уничтожение.
3. Снизить затраты на борьбу с сорняками – экономия гербицидов и автоматизация процесса обработки позволяют снизить общие затраты на борьбу с сорняками.
4. Минимизировать негативное воздействие на окружающую среду – сокращение использования гербицидов способствует сохранению биоразнообразия и снижению загрязнения окружающей среды.

Материалы и методы. Процесс эффективного использования алгоритмов ИИ и искусственных нейронных сетей для автоматизации задач, связанных с сорной растительностью, от выявления отдельных сорняков до создания карт их распространения, включает в себя следующие этапы (рисунок 2):

1. Формирование набора данных, включая сбор цветных (RGB) изображений посевов полевых культур с использованием беспилотных летательных аппаратов, наземных камер, в том числе стационарных камер или мобильных устройств. Процесс формирования набора данных должен учитывать различные сценарии: разные сорта культур и различные фазы их роста и развития, широкий спектр видов сорной растительности, а также параметры фотовидеофиксации и ее освещенность.

2. Аннотация сформированного каталога RGB изображений для обучения и тестирования искусственных нейронных сетей, включая классификацию по меткам «сорняк», «культура» и «прочие объекты» (при необходимости), обнаружение объектов (определение координат сорняков на изображении) и семантическую сегментацию (разделение каждого пикселя изображения на ранее объявленные классы).

3. Определение оптимального алгоритма обучения и выбор подходящей архитектуры ИНС с учетом специфики задачи и доступных вычислительных ресурсов.

4. Обучение модели на размеченном наборе данных, применение алгоритмов аугментации (искусственное увеличение) для повышения устойчивости и обобщающей способности модели (при необходимости), а также выбор оптимальных гиперпараметров с целью достижения максимальной производительности.

5. Оценка производительности обученной модели на тестовом наборе данных с использованием метрик, релевантных поставленной задаче («precision», «recall», «mAP» и др.) с последующим развертыванием на различных платформах, адаптированных к работе в полевых условиях.

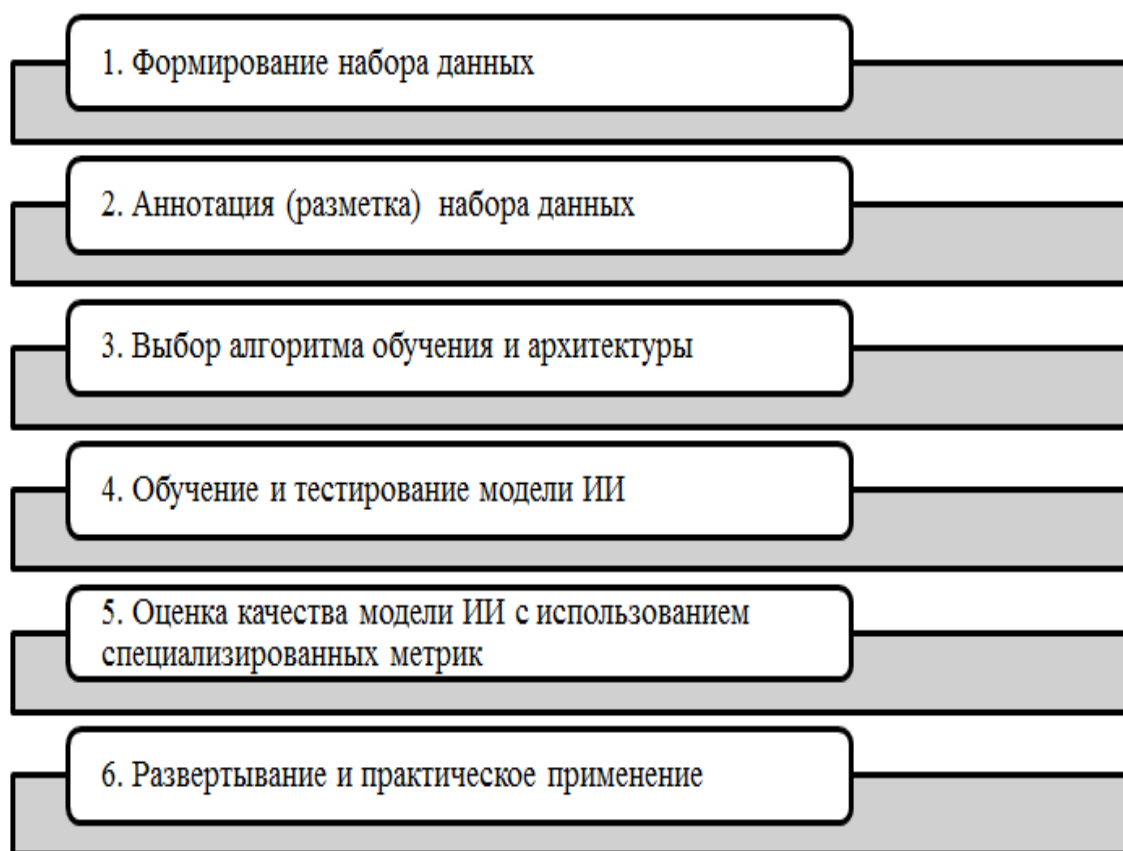


Рисунок 2 – Основные этапы создания алгоритмов ИИ для решения задач картирования сорной растительности и очагов ее распространения

Figure 2 – The main stages of creating AI algorithms for solving the problems of mapping weeds and foci of their distribution

Для формирования набора данных, включающего обучающую, проверочную и тестовую выборки, использованы цветные RGB изображения посевов кукурузы, фрагментарно содержащие сорную растительность и находящиеся в стадии развития листьев (код по классификации ВВСН 10-20) и формирования боковых побегов, кущение (код по классификации ВВСН 20-30) [7]. Типовые изображения посевов кукурузы формата .jpg, прошедшие процедуру аугментации, включающую геометрические и цветовые преобразования, из сформированного набора данных представлены на рисунке 3 (а, б).



а)

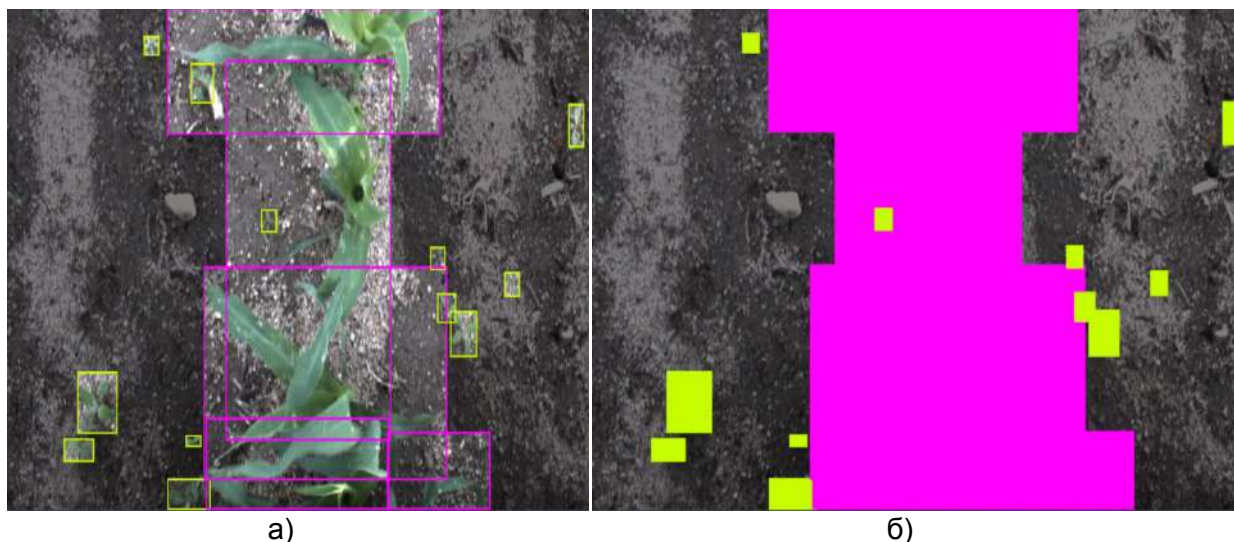
б)

Рисунок 3 – Типовые изображения обучающего набора данных, прошедшие процедуры аугментации (а – поворот, б – изменение яркости)

Figure 3 – Typical images of the training dataset that have undergone augmentation procedures (a – rotation, b – brightness change)

Следующим этапом формирования набора данных для обучения ИНС являлась разметка изображений (аннотирование), включающая присвоение каждому изображению метки класса («культурное растение (кукуруза)» и «сорное растение»).

Размеченные RGB изображения обучающего набора данных по классу («культурное растение (кукуруза)» и «сорное растение» с наложенными слоями для локализации каждого из выделенных классов на рисунке 4 (а, б).



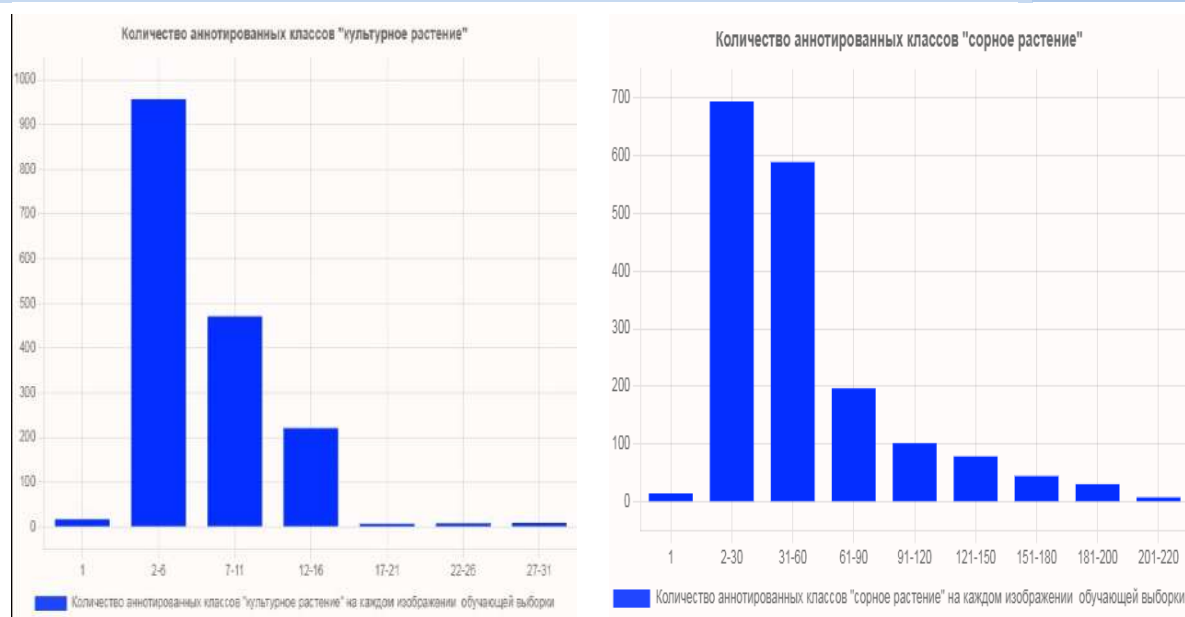
а)

б)

Рисунок 4 – Размеченные изображения обучающей выборки по классу (а – выделение границ признака класса, б – наложение слоев)

Figure 4 – Marked images of the training sample by class (a – highlighting the boundaries of the class feature, b – layering)

Гистограмма распределения количества аннотированных классов («культурное растение (кукуруза)», «сорное растение») на каждом изображении из обучающего набора данных (рисунок 5).



а)

б)

Рисунок 5 – Распределение аннотированных классов,
а) «культурное растение (кукуруза)», б) «сорное растение»

Figure 5 – Distribution of annotated classes,
a) "cultivated plant (maize)", b) "weed"

Результаты. Результаты разметки изображений обучающего набора данных в виде карты плотности аннотаций (усредненного визуального распределения контуров сформированных классов по всем изображениям обучающей выборки), аннотированных по классам: а) («культурное растение (кукуруза)», б) «сорное растение» представлены на рисунке 6 (а, б).

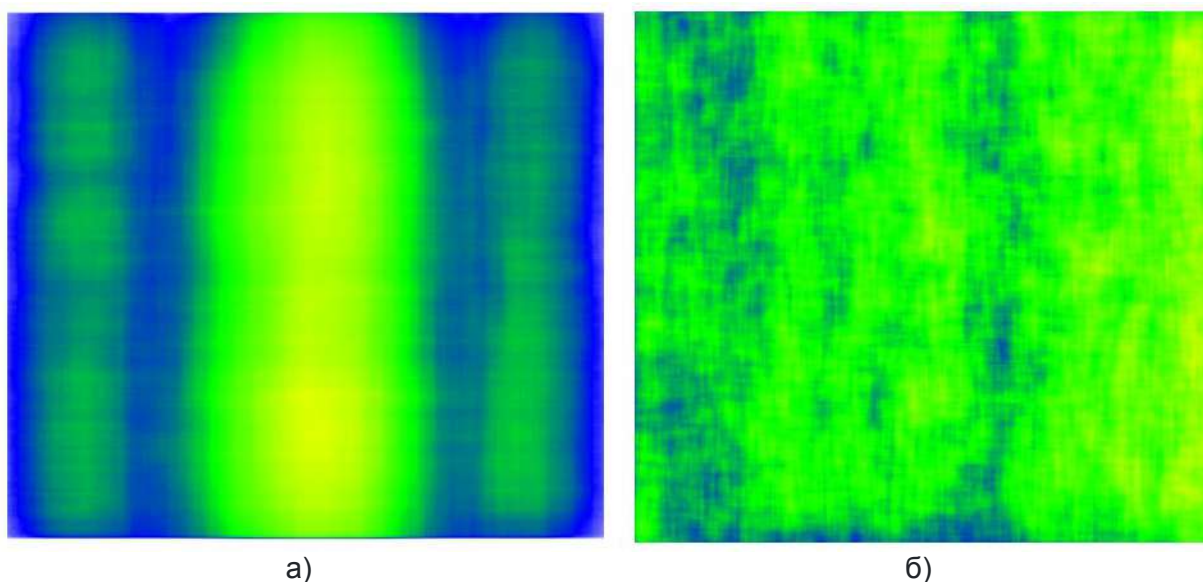


Рисунок 6 – Визуальное распределение контуров сформированных классов в обучающей выборке
Figure 6 – Visual distribution of the contours of the formed classes in the training sample

Фрагмент листинга использования модели бинарной классификации (классы: «crop» – культурное растение (кукуруза), «weed» – сорное растение), реализованной на Phyton, представлен на рисунке 7.

```

# Пример использования модели для бинарной классификации:
from tensorflow.keras.preprocessing import image
from tensorflow.keras.models import load_model
def predict_image(img_path, model_path='crop_weed_model.h5',
target_size=(128, 128)):
    model = load_model(model_path)
    img = image.load_img(img_path, target_size=target_size)
    img_array = image.img_to_array(img)
    img_array = np.expand_dims(img_array, axis=0) # Добавление размерности
    батча
    img_array /= 255. # Нормализация
    prediction = model.predict(img_array)[0][0] # Получение значений из
    массива
    if prediction > 0.5:
        return "weed", prediction
    else:
        return "crop", 1 - prediction

```

Рисунок 7 – Фрагмент листинга бинарной классификации на Python

Figure 7 – Fragment of the binary classification listing on Python

Для компьютерной реализации нейронной сети со сверточными слоями использованы следующие классы и функции:

- «class_mode='binary'»: установка режима бинарной классификации (binary в ImageDataGenerator): сорное растение или культурное растение (кукуруза);
- «loss='binary_crossentropy'»: использование функции потерь (binary_crossentropy) для бинарной классификации;
- «activation='sigmoid'»: использование функции активации sigmoid в последнем слое для бинарной классификации;
- «y_pred_classes = (y_pred > 0.5).astype(int)»: преобразование предсказаний в метки классов с последующим сравнением с порогом 0.5;
- «target_names=['crop', 'weed']»: объявление имен классов для вывода отчета о классификации;
- «predict_image»: функция, возвращающая предсказанный класс («weed» или «crop») и уверенность модели (вероятность) для соответствующего класса.

Реализованная в ходе исследования нейросетевая модель на языке Python позволяет использовать предобученную нейронную сеть со сверточными слоями для бинарной классификации изображений посевов кукурузы, с возможностью поиска очагов распространения сорной растительности, по оперативным данным, получаемым со стационарных или мобильных средств фотовидеофиксации.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований по разработке технологии нейросетевой бинарной классификации для картирования сорной растительности и очагов ее распространения с применением алгоритмов компьютерного зрения обладает множеством значительных преимуществ по сравнению с традиционными методами картирования.

Своевременное обнаружение сорной растительности и локализация очагов ее распространения позволит растениеводческим хозяйствам оперативно принимать меры по борьбе с ними, предотвращая тем самым их распространение, снижение урожайности и экономические потери. Интеллектуальные технологии картирования сорной растительности и очагов ее распространения, в том числе на ранних стадиях, базирующиеся на цифровом анализе RGB-изображений, способны существенно повысить эффективность и точность агротехнологических мероприятий на значительных посевных площадях в условиях оптимизации материальных и человеческих ресурсов.

Conclusions. The results of experimental studies on the development of neural network binary classification technology for mapping weeds and foci of their distribution using computer vision algorithms have many significant advantages over traditional mapping methods.

Timely detection of weeds and localization of their outbreaks will allow crop farms to quickly take measures to combat them, thereby preventing their spread, reduced yields and economic losses. Intelligent technologies for mapping weeds and their distribution foci, including at the early stages, based on digital analysis of RGB images, can significantly increase the efficiency and accuracy of agrarian technological measures on large sown areas in the context of optimizing material and human resources.

Библиографический список

1. Алферьев Д. А. Практика реализации сверточных нейронных сетей в сельском хозяйстве и агропромышленном комплексе. *АгроЗооТехника*. 2020. Т. 3. № 2. С. 4.
2. Бородин В. В., Лытов М. Н. Алгоритм создания технических систем для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза с использованием метода морфологической комбинаторики. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2021. № 2 (62). С. 314-330.
3. Kakkad V., Patel M., Shah M. Biometric authentication and image encryption for image security in cloud framework. *Multiscale and Multidiscip. Model. Exp. and Des.* 2019. Pp. 1-16.
4. Булкин В. И. Создание интеллектуальных систем в промышленности и сельском хозяйстве на основе управляемого синтеза искусственных нейронных сетей. *Промышленность и сельское хозяйство*. 2020. № 4 (21). С. 68-75.
5. Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Экспертные системы программного управления в точном земледелии. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020. № 2. С. 11-16.
6. Салугин А. Н., Балкушкин Р. Н. О применении искусственных нейронных сетей для моделирования водопотребления. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2021. № 1. С. 70-84.
7. Tottman D. R. The decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. *Ann. Appl. Biol.* 1987. No 110. Pp. 441-454.
8. Тутыгин В. С., Аль-Винди Басим Х. М. А. Способ распознавания болезней растений по текстурным признакам с использованием нечеткой логики. *Инженерный вестник Дона*. 2019. № 3 (54). <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5846>
9. Токарев К. Е. и др. Онтология классов цветных изображений посевов сельскохозяйственных культур для обучения и тестирования моделей искусственных нейронных сетей со сверточными слоями. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. № 12 (40).
10. Parekh V., Shah D., Shah M. Fatigue detection using artificial intelligence framework. *Augmented Human Research*. 2020. No 5. P. 5.
11. Токарев К. Е., Лебедь Н. И., Фомин С. Д. Проектирование и компьютерная реализация комплекса программ для интеллектуального мониторинга роста и развития агробиоценозов в условиях их контролируемого выращивания. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2023. № 4 (72). С. 38-49.

References

1. Alferyev D. A. Practice of Implementation of Convolutional Neural Networks in Agriculture and Agro-Industrial Complex. *AgroZooTechnika*. 2020. V. 3. № 2. P. 4.
2. Borodychev V. V., Lytov M. N. Algorithm for Creating Technical Systems for Regulating the Hydrothermal Regime of Agrophytocenosis Using the Method of Morphological Combinatorics. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2021. № 2 (62). Pp. 314-330.
3. Kakkad V., Patel M., Shah M. Biometric authentication and image encryption for image security in cloud framework. *Multiscale and Multidiscip. Model. Exp. and Des.* 2019. Pp. 1-16.
4. Bulkin V. I. Creation of Intelligent Systems in Industry and Agriculture on the Basis of Controlled Synthesis of Artificial Neural Networks. *Industry and agriculture*. 2020. № 4 (21). Pp. 68-75.
5. Mikhailenko I. M., Timoshin V. N. Expert software control systems in precision agriculture. *Bulletin of Russian Agricultural Science*. 2020. № 2. Pp. 11-16.
6. Salugin A. N., Balkushkin R. N. On the Application of Artificial Neural Networks for Water Consumption Modeling. *Water Management in Russia: Problems, Technologies, Management*. 2021. № 1. Pp. 70-84.
7. Tottman D. R. The decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. *Ann. Appl. Biol.* 1987. No 110. Pp. 441-454.
8. Tutygin V. S., Al-Vindi Basim H. M. A. Method for Recognizing Plant Diseases by Textural Features Using Fuzzy Logic. *Engineering Bulletin of the Don*. 2019. № 3 (54). <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5846>
9. Tokarev K. E. et al. Ontology of classes of color images of agricultural crops for training and testing models of artificial neural networks with convolutional layers. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. № 12 (40).
10. Parekh V., Shah D., Shah M. Fatigue detection using artificial intelligence framework. *Augmented Human Research*. 2020. No 5. P. 5.
11. Tokarev K. E., Lebed N. I., Fomin S. D. Design and Computer Implementation of a Complex of Programs for Intelligent Monitoring of Growth and Development of Agrobiocenoses in the Conditions of Their Controlled Cultivation. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2023. № 4 (72). Pp. 38-49.

Информация об авторах

Токарев Кирилл Евгеньевич, доцент кафедры, кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru
Мелихова Елена Валентиновна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: mel-v07@mail.ru
Рогачев Алексей Фруминович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: rafr@mail.ru
Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор ПАЕ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

Authors' Information

Tokarev Kirill Evgenievich, Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru
Melikhova Elena Valentinovna, Doctor of Engineering Sciences, Assistant Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: mel-v07@mail.ru

Rogachev Aleksey Fruminovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: rafr@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Russian Academy of Economics, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-20

THE INFLUENCE OF THE PYROGENIC FACTOR ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF SOILS IN FOREST BELTS (ON THE EXAMPLE OF THE VOLGOGRAD REGION)

Vereshchagin E. K., Danchenko I. A., Fedotova A. V.

*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vereshchagin-e@vfanc.ru

Received 13.02.2025

Submitted 17.04.2025

The research was conducted within the framework of the state assignments of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences: No. FNFE-2025-0004 «Theoretical justification and concept of adaptive solutions for managing phyto ecological resources of agrarian landscapes in the arid zone of the Russian Federation at the basin level, using system-dynamic modeling of soil-hydrological processes and multifactor analysis of the impact of climate change and anthropogenic pressures», No. FNFE-2025-0012 «Theoretical foundations and methodology of balance assessment greenhouse gases in freshwater reservoirs in the arid conditions of southern Russia».

Summary

The article presents the results of research on three experimental plots in the arid conditions of the Volgograd region, which represent forest belts of different rows, planting patterns and the degree of damage by the pyrogenic factor. As a result of the research, it was revealed that fires in one way or another affect the level of certain chemical compounds.

Abstract

Introduction. The pyrogenic factor poses a significant threat to forest ecosystems, particularly in reclamation plantations, affecting biota, soil biological activity, and the stability of agrarian landscapes. As thermodynamically open ecosystems, forest shelterbelts play a crucial role in soil erosion prevention, carbon cycle regulation, and microclimate improvement in agricultural areas. This underscores the necessity of studying the impact of wildfires on their ecological functions. **Object.** The study focuses on forest shelterbelts in the Volgograd region that have been affected by pyrogenic processes, specifically in the Gorodishchensky district (Novorogachinskoye urban settlement, Karpovskoye rural settlement) and the Kalachevsky district (Marinovskoye rural settlement). The soil cover in the Gorodishchensky district is primarily represented by heavy loamy chestnut and light chestnut soils (96.2 %), with inclusions of solonchaks. In the Kalachevsky district, light chestnut and chestnut loamy soils predominate, alongside meadow-chestnut soils in the Don River floodplain and solonchaks chestnut soils near reservoirs. **Materials and methods.** The research was conducted in August 2023 at three experimental sites. Soil samples were collected using an N.F. Kulik auger to a depth of 50 cm, with 10 cm increments. Chemical analyses of the samples were performed at the FNC of agroecology RAS using capillary electrophoresis (for chlorides and nitrates), a flame photometer (for mobile potassium), a potentiometric analyzer (for pH), and a spectrophotometer (for organic matter). Fire parameters were determined using satellite data from NASA FIRMS and Sentinel Hub. **Results and discussion.** It has been established that pyrogenic impact increases soil alkalinity (pH) across all horizons (0-50 cm) while reducing organic matter content in the upper layer (0-10 cm), leading to humus horizon degradation. A significant reduction in soil chloride concentration was observed due to thermal decomposition and leaching, along with the transformation of nitrates into gaseous nitrogen forms (NO, N₂). The intensity of wildfires correlates with the degree of soil degradation. The results emphasize the need for post-fire soil restoration measures, including phytomelioration and organic fertilization. These findings are relevant for predicting the long-term consequences of wildfire impact on forest ecosystems and agricultural lands.

Keywords: *pyrogenic impact, light chestnut soils, forest belts, soil degradation, pH, satellite monitoring of fires, soil restoration, ecological functions of forest plantations.*

Citation. Vereshchagin E. K., Danchenko I. A., Fedotova A. V. The influence of the pyrogenic factor on the chemical composition of soils in forest belts (on the example of the Volgograd region). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 186-198 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-20.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.48:632.187(571.5)

**ВЛИЯНИЕ ПИРОГЕННОГО ФАКТОРА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ
В ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)****Верещагин Е. К., младший научный сотрудник, аспирант****Данченко И. А., лаборант-исследователь****Федотова А. В., главный научный сотрудник**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках государственных заданий ФНЦ агроэкологии РАН: № FNFE-2025-0004 «Теоретическое обоснование и концепция адаптивных решений по управлению фитозоологическими ресурсами агроландшафтов засушливой зоны РФ на бассейновом уровне, с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, многофакторного анализа влияния изменения климата и антропогенных нагрузок», № FNFE-2025-0012 «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России».

Актуальность. Пирогенный фактор представляет значительную угрозу для лесных экосистем, особенно в мелиоративных насаждениях, влияя на биоту, биологическую активность почв и стабильность агроландшафтов. Лесные полосы, как термодинамически открытые экосистемы, играют ключевую роль в защите почв от эрозии, регулировании углеродного цикла и улучшении микроклимата сельскохозяйственных территорий, что обуславливает необходимость изучения последствий пожаров для их экологических функций. **Объект исследования.** Лесные полосы Волгоградской области, подвергшиеся пирогенному воздействию, включая участки в Городищенском (Новорогачинское городское поселение, Карповское сельское поселение) и Калачевском (Мариновское сельское поселение) районах. Почвенный покров Городищенского района представлен каштановыми и светло-каштановыми тяжелосуглинистыми почвами (96,2 %), с включением солонцов. В Калачевском районе преобладают светло-каштановые и каштановые суглинистые почвы, а также лугово-каштановые почвы в пойме Дона и каштановые солонцеватые – вблизи водохранилищ. **Материалы и методы.** Исследования проведены в августе 2023 года на трех опытных участках. Отбор почвенных проб выполнен буром Н. Ф. Кулика до глубины 50 см с шагом 10 см. Химический анализ образцов проведен в ФНЦ агроэкологии РАН с использованием системы капиллярного электрофореза (хлориды, нитраты), пламенного фотометра (подвижный калий), потенциометрического анализатора (рН) и спектрофотометра (органическое вещество). Параметры пожаров установлены через спутниковые данные (NASA FIRMS, Sentinel Hub). **Результаты и выводы.** Установлено, что пирогенное воздействие повышает щелочность почв (рН) во всех горизонтах (0-50 см) и снижает содержание органического вещества в верхнем слое (0-10 см), приводя к деградации гумусового горизонта. Выявлено уменьшение концентрации хлоридов за счет термического разложения и вымывания, а также трансформация нитратов в газообразные формы азота (NO, N₂). Мощность пожаров коррелирует со степенью деградации почвенного покрова. Полученные данные подчеркивают необходимость разработки мер по восстановлению почв после пожаров, включая фитомелиорацию и внесение органических удобрений. Результаты актуальны для прогнозирования долгосрочных последствий пирогенного воздействия на лесные экосистемы и сельскохозяйственные угодья.

Ключевые слова: пирогенное воздействие, светло-каштановые почвы, лесные полосы, деградация почв, рН, спутниковый мониторинг пожаров, восстановление почв, экологические функции лесных насаждений.

Цитирование. Верещагин Е. К., Данченко И. А., Федотова А. В. Влияние пирогенного фактора на химический состав почв в лесных полосах (на примере Волгоградской области). *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 186-198. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-20.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время пирогенный фактор стал представлять одну из основных угроз для лесных экосистем и экологической обстановки, в частности пожары в мелиоративных насаждениях. Такие воздействия существенно влияют на биоту и биологическую активность почв [1]. Лесные полосы – термодинамически открытые экосистемы в виде мелиоративных древесных насаждений, значимые не только для экономики региона, но и для государства в целом. Все виды таких насаждений улучшают микроклимат прилегающих полей, занятых сельскохозяйственными культурами, являются барьером для вредо-

носной эрозии и дефляции почв, обеспечивают улучшение условий фауны, защищают почву от потери влаги и переводят дождевую влагу в подпочвенные стоки, регулируют углеродный цикл и т. д. Все перечисленные факторы стабилизируют экосистему в целом [2].

Непроведение или несвоевременное проведение рубок ухода, отсутствие минерализованных защитных полос, а также неосторожное обращение людей с огнем в сочетании с жаркими и засушливыми погодными условиями являются огромным риском возникновения ландшафтных пожаров [3, 4].

Пожары, которые начинаются с горения травянистой и/или кустарниковой растительности, а также лесной подстилки, быстро распространяются в лесных полосах, особенно если большая часть деревьев занята свежим сухостоем, ветровалом, главным образом старым буреломом и валежником. В результате таких пожаров не только выделяется углерод в атмосферу, но происходит воздействие на его запасы в почвах и лесной подстилке, которые могут быть значительно сокращены. Уничтожение растительности в результате пожаров несет за собой значительные последствия, включая утрату важных углеродных запасов, что способствует выбросам парниковых газов и, как следствие, вносит свой вклад в изменение климата [5].

Воздействия пирогенного фактора вызывают не только локальные нарушения, но и снижение качества экологических функций экосистем лесов, в частности, мелиоративных насаждений. Почвы имеют важное значение для поддержания и обеспечения жизни на нашей планете. В результате пожаров в почве происходит изменение содержания различных химических элементов [6]. Степень нарушения почвы в результате низовых пожаров во многом зависит от их интенсивности, экспозиции, повторяемости, запаса горючего материала и свойств почвы, а также от экологических и климатических характеристик региона [7, 8]. Увеличение мощности тепловыделения активной зоны горения и экспозиции пожара в свою очередь приводит к повышению температуры почвы. Степень нагрева почвы также зависит от химического, гранулометрического состава и ее структуры. При этом температура в почвенном горизонте будет расти очень медленно, так как сухая почва является хорошим теплоизолятором [9]. При этом немаловажное значение на протекание самих пожаров, и как следствие, на изменение химического состава почв оказывает рельеф местности, травянистая растительность межполосного пространства и лесных полос [10].

В исследованиях различных авторов прослеживается закономерность, что наибольшее влияние данного фактора проявляется в поверхностных слоях, и с глубиной имеет меньшую динамику [11]. В связи с этим изучение влияния пирогенных факторов на химические свойства почвы актуально, в первую очередь, с точки зрения возможности восстановления агролесоландшафтов.

Материалы и методы. Исследования проводились на трех опытных участках в Городищенском (Новорогачинское городское поселение и Карповское сельское поселение) и Калачевском (Мариновское сельское поселение) районах Волгоградской области в августе 2023 года. Возрастной состав деревьев главной породы определялся с помощью бурава Пресслера [12]. Высота деревьев измерялась лазерным дальномером Nikon Forestry Pro методом двух точек в трех повторностях [13]. Было выбрано 3 модельных дерева, высота которых не превышала 10 % от высоты общего древостоя. Измерения высоты нагара на стволах деревьев производились рулеткой геодезической 40206. Дата и время пожаров было определено с помощью интернет ресурса <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>. Площади пожаров на опытных участках были рассчитаны с помощью облачной платформы <https://www.sentinel-hub.com/>. Отбор почвенных проб осуществлялся с помощью бура Н. Ф. Кулика в трех повторностях (лесная полоса – горельник или гарь, а также участок лесной полосы, не затронутый огнем, – контроль) до глубины 50 см через каждые 10 см. Почвенные образцы для транспортировки и хранения были помещены в бумажные пакеты с нанесенными на них бирками. На бирках были указаны следующие сведения: дата взятия почвенного образца, географические координаты, номер опытного участка, указание в виде буквы, где производился отбор пробы, в том числе контрольных участков (ЛП – лесная полоса, ЛПк – лесная полоса контрольного участка), глубина (0 см, 10 см и т. д.). Химические анализы почвенных образцов производились в Федеральном научном центре агроэкологии РАН по общепринятым методикам. Исследования производилось с помощью следующего оборудования (рисунок 1):

- система капиллярного электрофореза Капель – 105М для анализов хлоридов, нитратов, калия, кальция;

- фотометр пламенный автоматический ФПА-2-01 для анализа калия подвижного;
- анализатор жидкости лабораторный Анион 4100 для анализа pH почвы;
- спектрофотометр ПЭ-5400УФ для анализов органического вещества.



Рисунок 1 – Оборудование ФНЦ агроэкологии РАН для проведения химических анализов
Figure 1 – Equipment of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences

Анализы на химический состав почв выполнялись по методам и методикам, указанным в таблице 1.

Таблица 1 – Методики и методы для выполнения химических анализов почв
Table 1 – Methods for performing chemical analyses of soils

Химические показатели / Chemical indicators	Методы / Methods	Наименование методики / Name of the method
хлориды и нитраты / chlorides and nitrates	метод капиллярного электрофореза / capillary electrophoresis method	ПНД Ф 16.1:2.2.3:2.2.69-10 [16] / PND F Ф 16.1:2.2.3:2.2.69-10
кальций и калий / calcium and potassium	метод капиллярного электрофореза / capillary electrophoresis method	ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3.74 -2012 [17] / PND F 16.1:2.2.2:2.3.74 -2012
подвижный калий / mobile potassium	пламенная фотометрия / flame photometry	ГОСТ Р 54650-2011 [18] / State Standards R 54650-2011
органическое вещество / organic matter	фотометрический / photometric	ГОСТ 26213-2021 [19] / State Standards 26213-2021
pH почвы / soil pH	потенциометрический / potentiometric	ГОСТ 26423-85 [20] / State Standards 26423-85

Результаты и обсуждение. Участки исследований расположены в Волго-Уральском полупустынном районе.

В Городищенском районе Волгоградской области почвенный покров представлен каштановыми и светло-каштановыми почвами. По гранулометрическому составу почвы района преимущественно тяжелосуглинистые (96,2 %). Также встречаются среднесуглинистые (2,7 %) и супесчаные (1,1 %). Почти все светло-каштановые почвы встречаются в комплексе с солонцами в различных соотношениях. Восточная часть территории занята засоленными светло-каштановыми почвами, залегающими в комплексе с солонцами [14].

Опытный участок № 2 находится в Городищенском районе (Новорогачинское городское поселение) Волгоградской области недалеко от участка № 1. Координаты места отбора почвенных проб – 48.74606° N, 44.18845° E. Полезащитная лесная полоса является плотной конструкции. Высота деревьев 4 м, возраст 12 лет. Санитарное состояние – ослабленные деревья. Мелиоративное насаждение расположено в системе полезащитных лесных полос. Главные породы: вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.). Сопутствующая порода – единично лох узколистый (*Elaeagnus angustifolia* L.). Пробная площадь опытного участка находится на расстоянии 6 км по ЮЗ румбу от хутора Красный Пахарь, от балки Дубовая на расстоянии 1,5 км по северному направлению. С южной стороны лесной полосы на расстоянии 1,2 км расположена балка Дубовая (рисунок 2).



Рисунок 2 – Линейная полезащитная лесная полоса опытного участка № 2
(Новорогачинское городское поселение)

Figure 2 – Linear protective forest belt of experimental site No. 2 (Novorogachinskoye urban settlement)

По данным ресурса <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> спутника VIIRS 375mSuomi NPP, пожар произошел 08.06.2017 г. в 13:20 мин по местному времени. Мощность тепловыделения активной зоны горения (FPR) составила 41,3 МВт / м. Низовой пожар является небольшим по площади, по характеру горения устойчивым. Выгоревшая площадь составила 198,569 га.

В лесной полосе на пробной площади в августе 2023 г. были срезаны следующие растения: полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), неравноцветник кровельный (*Anisantha tectorum* (L.) Nevski), живокость полевая (*Delphinium consolida* L.), горчица полевая (*Sinapis arvensis* L.), козлобородник сомнительный (*Tragopogon dubius* Scop.), овсяница валлисская (*Festuca valesiaca* Gaudin), мелкопестничек канадский (*Conyza Canadensis* (L.) Cronquist), ковыль красивейший (*Stipa pulcherrima* K. Koch), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.). Растительная ассоциация данного опытного участка является полынно-злаковой.

Опытный участок № 3 находится в Городищенском районе (Карповское сельское поселение) Волгоградской области. Полезащитная лесная полоса расположена на расстоянии 4 км от Нового Рогачика по направлению к северу. Опытный участок, где в 2017 году произошел низовой пожар, находится на отметке высот 65 м над уровнем моря. Вдоль лесной полосы имеется уклон по направлению NNE румба.

Координаты отбора почвенных образцов – 48.72424° N, 44.05937° E. Полезащитная лесная полоса представляет собой поросль жердняка из вяза мелколистного (*Ulmus parvifolia* Jacq.). Насаждение на данный момент времени является изреженным (рединой). Изначально лесная полоса проектировалась ажурной конструкции по схеме см-В-В-В-В-см и являлась четырехрядной. Высота подроста вяза мелколистного (средняя) варьирует от

2,0 до 3,0 м, возраст – 10 лет. По санитарному состоянию преобладают ослабленные деревья. Кустарниковыми породами являются смородина золотая (*Ribes aureum* Pursh). После низового пожара два внутренних ряда полностью сгорели, а те ряды деревьев, которые остались с внешних сторон, были спилены. От пней пошла поросль. В лесной полосе большое количество обгоревших пней. Максимальная высота нагара на стволах деревьев составила 2,5 м (рисунок 3).



Рисунок 3 – Поросль жердняка из вяза приземистого (Карповское сельское поселение)
Figure 3 – A growth of small-leaved elm in the form of a radish (Karpovskoye rural settlement)

По данным интернет-ресурса <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> спутника VIIRS 375mSuomi NPP, термоточка пожара была зафиксирована 01.08.2017 г. в 12:42 мин. по местному времени. Мощность тепловыделения активной зоны горения составила 3,39 МВт / м. Низовой пожар является небольшим по площади, по характеру горения беглым. Выгоревшая площадь составила 86,562 га.

В лесной полосе на пробной площади в местах бурения в августе 2023 г. были отобраны следующие растения: полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), неравноцветник кровельный (*Anisantha tectorum* (L.) Nevski), живокость полевая (*Delphinium consolida* L.), горчица полевая (*Sinapis arvensis* L.), козлобородник сомнительный (*Tragopogon dubius* Scop.), овсяница валлиская (*Festuca valesiaca* Gaudin), мелкопестичек канадский (*Coryza Canadensis* (L.) Cronquist), ковыль красивейший (*Stipa pulcherrima* K. Koch), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.). Растительная ассоциация опытного участка является полынно-типчаково-костровой.

Опытный участок № 10 находится в Калачевском районе (Мариновское сельское поселение) Волгоградской области. Почвенный покров представлен светло-каштановыми и каштановыми почвами, в основном суглинистого механического состава. Район расположен в пределах каштановой почвенной зоны. По берегам Дона и северному побережью Карповского водохранилища находятся лугово-каштановые почвы. Они приурочены к донским террасам, чётко выделяясь более богатым и густым травостоем. Северную часть района и территорию, прилегающую к Цимлянскому водохранилищу и Волго-Донскому каналу, занимают каштановые и каштановые солонцеватые почвы. На западных склонах Ергенинской возвышенности находятся наименее плодородные почвы – светло-каштановые [14].

Лесная полоса опытного участка расположена в 2-х км от балки Ванюкова в восточном направлении. Координаты места бурения почвы – 48.73665° N, 43.77309° E. Линейная полевая защитная лесная полоса не образована системой лесных полос, является пятирядной. Изначально проектировалась ажурной конструкции. В настоящее время насаждение изреженное, местами продуваемой конструкции. Главными породами представлены робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) и вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.). Сопутствующими породами являются ясень зеленый и ясень ланцетный (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall). Санитарное состояние деревьев, в основном, ослабленные и здоровые. Высота деревьев составила в среднем 5 м, возраст 37 лет (рисунок 4).

В лесной полосе на пробной площади в местах бурения в августе 2023 г. были отобраны следующие растения: пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), овсяница валлиская (*Festuca valesiaca* Gaudin), гвоздика Евгении (*Dianthus eugeniae* Kleor.), кермек сарептский (*Limonium sareptanum* (A. Becker) Gams), люцерна посевная (*Medicago sativa* L.), молочай прутьевидный (*Euphorbia virgate* Waldst. & Kit.), полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), коровяк пурпурный (*Verbascum purpureum* (Janka) Hub.-Mor.), живокость полевая (*Delphinium consolida* L.). Ассоциация является тысячелистниково-типчаковой.



Рисунок 4 – Линейная полезащитная лесная полоса опытного участка № 10
(Мариновское сельское поселение)

Figure 4 – Linear protective forest belt of experimental site No. 10 (Marinovskoye rural settlement)

Мощность тепловыделения активной зоны горения составила 50,9 МВт / м. Низовой пожар по площади является малым, по характеру горения устойчивым. Выгоревшая площадь составила 125,12 га, максимальная высота нагара 193 см.

Обсуждение. Установлено, что пирогенный фактор, такой как лесные пожары, может оказывать значительное влияние на pH почвы. Когда растительность сгорает, высвобождаются щелочные соединения, такие как карбонаты кальция и калия, повышается pH почвы. Увеличение водородного показателя больше зависит от пиковых температур, чем от экспозиции пожара [15].

В результате пожаров сжигается органическое вещество в почве, которое обычно имеет нейтральный pH. Потребление органического вещества приводит к относительному увеличению содержания щелочных соединений и повышению pH, что и наблюдается на графиках, со смещением показателя в щелочную сторону (рисунок 5). Прослеживается зависимость величины водородного показателя pH почвы от пирогенного фактора. Так, для контрольных участков на глубине до 10 см показатель pH варьировал от 7,3 до 8,1 (2 уч. контроль, 3 уч. контроль, 10 уч. контроль), а на участках подверженных пирогенному фактору (2 уч., 3 уч., 10 уч.), идет смещение в более щелочную сторону.

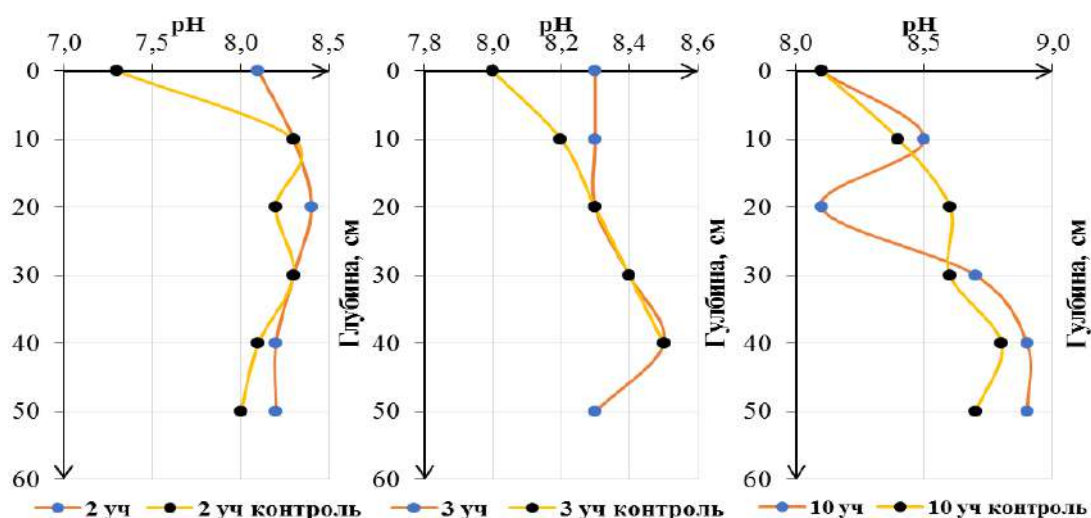


Рисунок 5 – Динамика кислотности почвы по профилю
Figure 5 – Dynamics of soil acidity by profile

Пирогенный фактор влияет на концентрацию органического вещества в почвенном горизонте. По прошествии 1-5 лет как правило происходит значительное снижение уровня данного показателя в поверхностных слоях почвы [6]. При более интенсивных пирогенных воздействиях происходит большее потребление органического вещества. Содержание гумуса в слое 0-10 см на контроле варьирует от 5,34 % до 10,2 %, тогда как на площадках, подверженных зафиксированным пожарам, этот показатель ниже и составляет от 3,4 % до 6,36 % (рисунок 6).

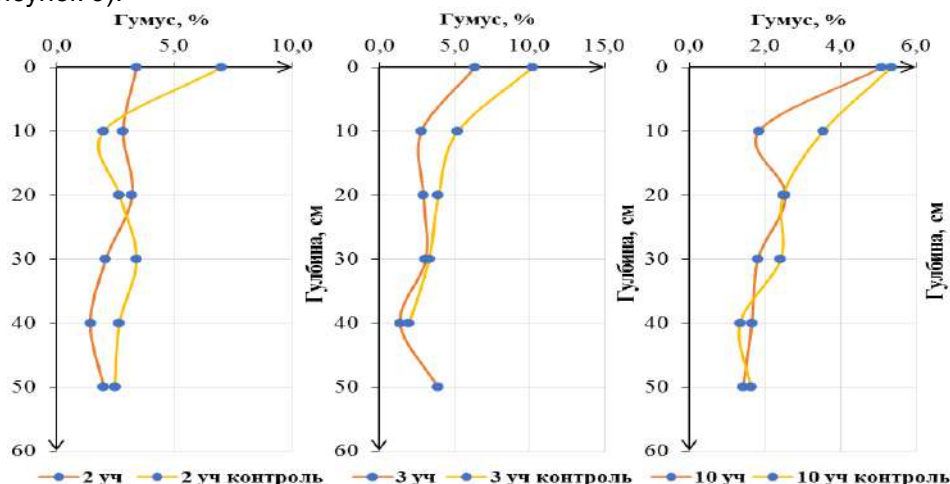


Рисунок 6 – Динамика содержания гумуса по профилю
Figure 6 – Dynamics of humus content by profile

Повышение температуры от пожаров может вызвать термическое разложение органического вещества, разрушая его химическую структуру и превращая его в более простые соединения, такие как вода, углекислый газ и зола.

В ходе исследований получен высокий отрицательный коэффициент парной корреляции зависимости органического вещества почвы от площадей пожаров, который составил 0,99. Из уравнения регрессии $y = 8,56375 - 0,026304 \cdot x$ видно, что увеличение площадей пожаров приводит к резкому снижению гумуса в почве. Также получен высокий отрицательный коэффициент парной корреляции зависимости органического вещества почвы от мощности тепловыделения активной зоны горения, который составил 0,7. Уравнение регрессии $y = 6,30609 - 0,0420367 \cdot x$ также показывает снижение гумуса, но в меньшей степени, чем площадями пожаров.

Результаты исследований показали, что пирогенный фактор в большей мере влияет на понижение хлоридных соединений в почве. Показатель хлоридных соединений на контрольных участках в слое 0-10 см варьировал от 16,8 мг/кг до 32,6 мг/кг, а на пострадавших от пожара участках эти данные изменяются от 10,1 мг/кг до 20,2 мг/кг (рисунок 7).

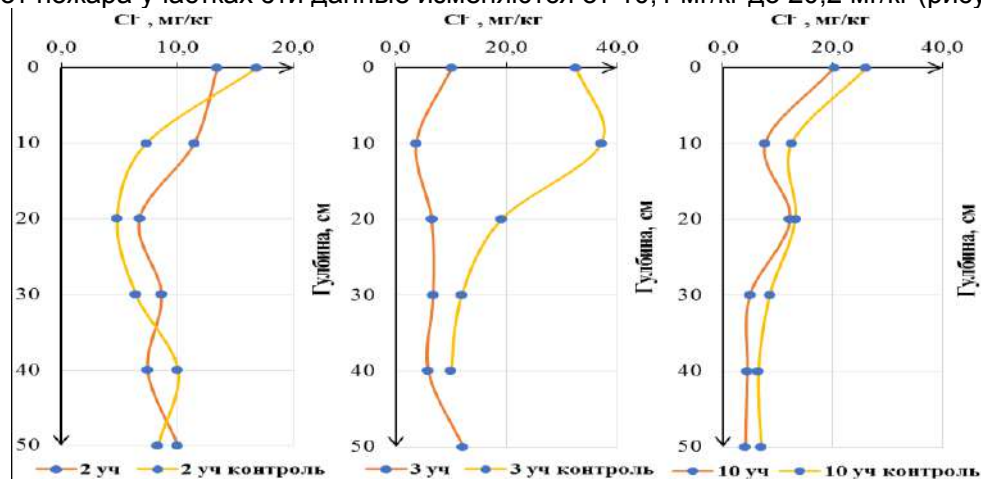


Рисунок 7 – Динамика хлоридов по профилю
Figure 7 – Chloride dynamics by profile

Это происходит по нескольким причинам. Высокие температуры, возникающие при пожарах, могут привести к улетучиванию хлоридов в виде хлористого водорода (HCl). Этот газ улетучивается в атмосферу, уменьшая содержание хлоридов в почве.

Установлено, что в результате устойчивых ландшафтных пожаров (опытные участки № 2 и № 10) содержание хлоридов выше по сравнению с опытным участком № 3, где произошел беглый пожар.

Уголь, образующийся в результате пожаров, обладает высокой адсорбционной способностью. Он может адсорбировать хлориды из почвенного раствора, уменьшая их доступность для растений. Высокие температуры пожаров могут привести к образованию комплексов между хлоридами и другими элементами, такими как железо и алюминий. Эти комплексы менее растворимы и менее доступны для растений.

В слое 0-10 см на контроле показатель нитратов равнялся 144,0 мг/кг на втором участке, 65,5 мг/кг – на третьем и 86,0 мг/кг на десятом. На пробных площадях, подверженных пирогенному фактору, эти показатели были равны 38,7 мг/кг, 35,2 мг/кг и 32,4 мг/кг соответственно (рисунок 8).

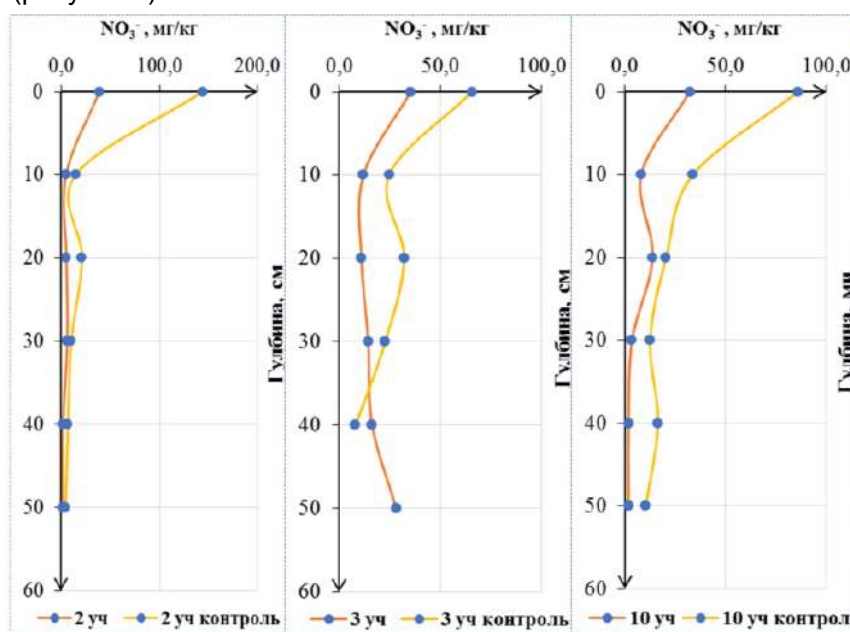


Рисунок 8 – Динамика нитратов по профилю
Figure 8 – Dynamics of nitrates by profile

Уменьшение содержания нитратов в почве под действием низовых пожаров может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. С одной стороны, пирогенные воздействия могут привести к снижению риска загрязнения грунтовых вод нитратами. С другой стороны, это может привести к дефициту азота для растений, что может негативно сказаться на их росте и продуктивности.

На двух из трех опытных участках прослеживается явное понижение содержания данных соединений. Это происходит по нескольким причинам. Высокие температуры, возникающие при пожарах, могут привести к денитрификации, процессу, при котором нитраты преобразуются в газообразные формы азота, такие как оксид азота (NO) и азот (N₂). Эти газы улетучиваются в атмосферу, уменьшая содержание нитратов в почве [16].

Пожары могут создавать восстановительные условия в почве, что способствует восстановлению нитратов до аммония. Аммоний менее подвижен, чем нитраты, и может связываться с почвенными частицами, уменьшая его вымывание.

Нитраты могут также улетучиваться в виде аммиака (NH₃) при высоких температурах. Этот процесс происходит в основном в щелочных почвах.

Уголь, образующийся в результате пожаров, может адсорбировать нитраты из почвенного раствора, уменьшая их доступность для растений.

На графиках видно, что зависимость содержания кальция в почве от пирогенного фактора в нашем исследовании минимальна (рисунок 9).

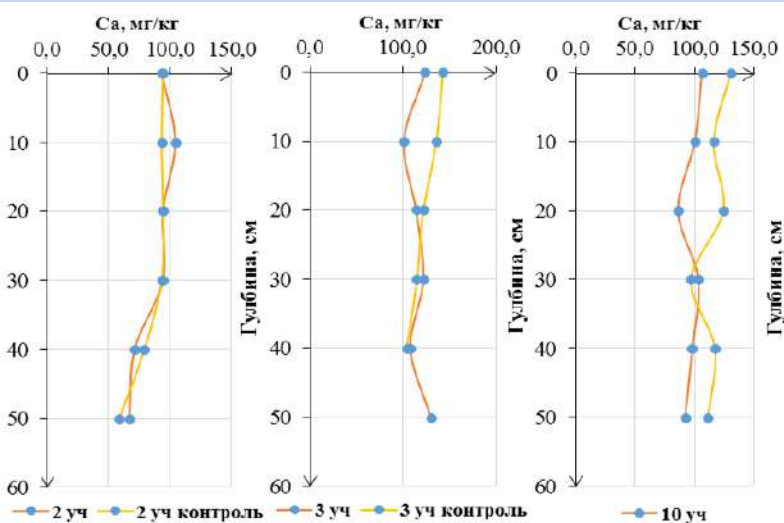


Рисунок 9 – Динамика кальция по профилю
Figure 9 – Calcium dynamics by profile

Также стоит отметить, что на содержание калия в почве пирогенный фактор влияет с меньшей силой, что и видно на графиках, представленных на рисунке 10. Значения, полученные на контрольных участках, находятся в диапазоне от 49,5 мг/кг до 92,0 мг/кг, тогда как на площадках, подверженных пожару, они выше (от 53,6 мг/кг до 141,0 мг/кг).

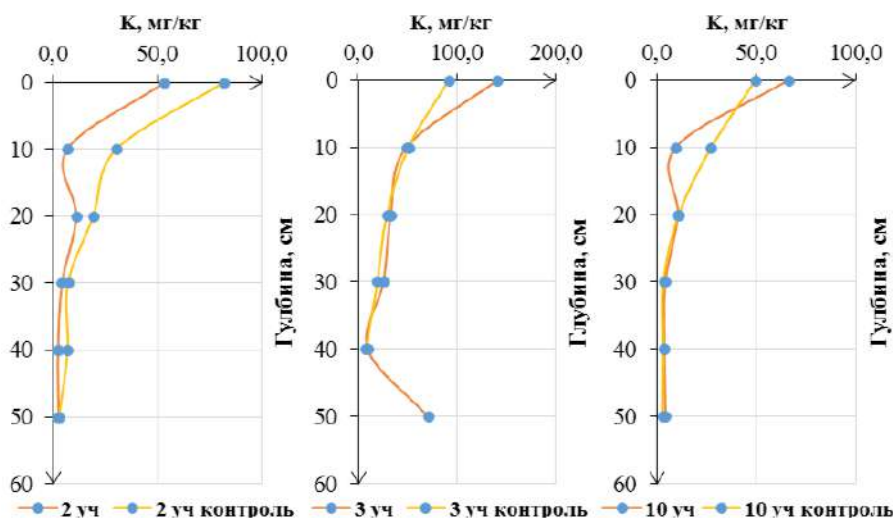


Рисунок 10 – Динамика калия по профилю
Figure 10 – Potassium dynamics by profile

Таким образом, пирогенный фактор влияет не на все показатели и не на все элементы, содержащиеся в почве, но все же он оказывает негативное воздействие на многие составляющие почвы и литосферы в целом. Большой вред наносится поверхностным слоям почвы. Активные изменения наблюдаются в слоях на глубине до 20 см, а в единичных случаях и ниже.

Немаловажным условием воздействия пирогенного фактора на химический состав почвы являются непосредственно пирологические характеристики: площадь и экспозиция пожара, мощность тепловыделения активной зоны горения, интенсивность пожара и т.д.

Заключение. Проведенные исследования позволили установить, что водородный показатель (рН) почв лесных полос, подвергшихся пирогенному воздействию, во всех исследуемых горизонтах (0-50 см) указывает на повышенную щелочность по сравнению с контрольными участками. Это указывает на то, что пирогенный фактор играет значительную роль в процессах выщелачивания почвы, что подтверждается изменением ее химических свойств. Сравнительный анализ почвенных образцов, взятых с участков, подверженных фактору, и контрольных зон, показал, что пожары приводят к существенному снижению содержания органического вещества

в верхнем слое почвы (0-10 см). Данный факт свидетельствует о деградации гумусового горизонта, что негативно сказывается на плодородии почвы и ее способности поддерживать растительные сообщества.

Кроме того, исследование выявило, что пирогенное воздействие вызывает значительное уменьшение концентрации хлоридных соединений в почве. Этот процесс обусловлен комплексом факторов. Во-первых, в ходе горения происходит термическое разложение хлоридов с выделением хлористого водорода (H^+Cl^-), который улетучивается в атмосферу. Во-вторых, изменение pH почвы в сторону щелочности, вызванное пирогенным воздействием, снижает стабильность хлоридов, что способствует их дальнейшему вымыванию из почвенного профиля. Эти процессы приводят к изменению ионного баланса почвы, что может оказывать долгосрочное влияние на ее химические и физические свойства.

Также в ходе исследований было установлено, что пирогенное воздействие вызывает трансформацию нитратов в газообразные формы азота, такие как оксид азота (NO) и молекулярный азот (N_2). Денитрификация активируется при высоких температурах, характерных для пожаров. Помимо этого, сгорание органического вещества, являющегося основным источником нитратов, приводит к их значительному снижению в почве. Согласно предварительным данным, на участках с устойчивыми пожарами (№ 2 и № 10) содержание нитратов в почвенных горизонтах в среднем ниже, чем на участке с беглым пожаром (№ 3). Это свидетельствует о том, что интенсивность и продолжительность пирогенного воздействия напрямую влияют на степень деградации почвенного покрова.

Полученные результаты подчеркивают значительное влияние пирогенных процессов на химические свойства почв и их биогеохимические циклы. Пожары не только изменяют pH почвы, но и приводят к потере органического вещества, хлоридов и нитратов, что в совокупности снижает плодородие почвы и нарушает ее экологические функции. Эти данные имеют важное значение для разработки мер по восстановлению почвенного покрова после пожаров, а также для прогнозирования долгосрочных последствий пирогенного воздействия на лесные экосистемы. В дальнейшем планируется провести более детальные исследования, направленные на изучение механизмов восстановления почв после пожаров, включая оценку эффективности фитомелиоративных мероприятий и внесения органических удобрений для восстановления гумусового горизонта.

По предварительной оценке, можно сделать вывод, что площади низовых пожаров оказывают большее влияние на снижение органического вещества почвы по сравнению с мощностью тепловыделения активной зоны горения. Тем не менее, для более углубленного изучения влияния таких пирологических характеристик необходима большая выборка значений.

Conclusions. The study has demonstrated that soil pH in forest shelterbelts affected by wildfires is higher across all investigated horizons (0-50 cm) compared to control sites. This suggests that pyrogenic factors play a significant role in soil leaching processes, as confirmed by changes in its chemical properties. A comparative analysis of soil samples from fire-affected areas and control sites has shown that wildfires lead to a substantial reduction in organic matter content in the upper soil layer (0-10 cm). This indicates humus horizon degradation, which negatively affects soil fertility and its ability to sustain plant communities. Furthermore, the study revealed a significant reduction in soil chloride concentration due to multiple interacting factors. Firstly, during combustion, thermal decomposition of chlorides releases hydrogen chloride (H^+Cl^-) into the atmosphere. Secondly, a shift in soil pH toward alkalinity due to wildfire impact reduces chloride stability, facilitating further leaching from the soil profile. These processes alter the soil's ionic balance, which may have long-term effects on its chemical and physical properties.

Additionally, the study established that pyrogenic impact induces the transformation of nitrates into gaseous nitrogen forms, such as nitrogen oxide (NO) and molecular nitrogen (N_2). Denitrification is activated at the high temperature characteristics of wildfires. Moreover, the combustion of organic matter, which serves as the primary source of nitrates, leads to a significant reduction in nitrate levels in the soil. According to preliminary data, sites with recurrent wildfires (No. 2 and No. 10) exhibit lower average nitrate concentrations in soil horizons compared to the site affected by a surface fire (No. 3). This indicates that both the intensity and duration of wildfire exposure directly influence the extent of soil degradation.

The obtained results highlight the significant impact of wildfire processes on soil chemical properties and biogeochemical cycles. Fires not only alter soil pH but also lead to the loss of organic matter, chlorides, and nitrates, collectively reducing soil fertility and disrupting its ecological functions. These findings are crucial for developing post-fire soil restoration strategies and forecasting the long-term consequences of pyrogenic impact on forest ecosystems. Future research will focus on a more detailed investigation of soil recovery mechanisms following wildfires, including assessing the effectiveness of phytomelioration measures and organic fertilization for restoring the humus horizon. Based

on preliminary assessments, it can be concluded that low-intensity ground fires have a greater impact on organic matter reduction in soil compared to the heat release intensity of the active combustion zone. However, a larger dataset is required to conduct a more in-depth analysis of the effects of such pyroecological characteristics.

Библиографический список

1. Alfaro-Leranz A. et al. Long-term evolution of shrub prescribed burning effects on topsoil organic matter and biological activity in the Central Pyrenees (NE-Spain). *Science of The Total Environment*. 2023. V. 888. P. 163994.
2. Liu H. et al. Nature-based framework for sustainable afforestation in global drylands under changing climate. *Global change biology*. 2022. V. 28. № 7. Pp. 2202-2220.
3. Singh M., Huang Z. Analysis of forest fire dynamics, distribution and main drivers in the Atlantic Forest. *Sustainability*. 2022. V. 14. № 2. P. 992.
4. Кириллов С. Н., Егорова Е. В. Основные тенденции возникновения ландшафтных пожаров на территории России и Волгоградской области. *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология*. 2012. № 1 (20). С. 298-304.
5. Law B. E. et al. Creating strategic reserves to protect forest carbon and reduce biodiversity losses in the United States. *Land*. 2022. V. 11. № 5. P. 721.
6. Roshan A., Biswas A. Fire-induced geochemical changes in soil: Implication for the element cycling. *Science of The Total Environment*. 2023. V. 868. P. 161714.
7. Agbeshie A.A., Abugre S., Atta-Darkwa T. et al. A review of the effects of forest fire on soil properties. *J. For. Res.* 2022. No 33. Pp. 1419-1441.
8. Fernandez-Marcos M. L. Potentially toxic substances and associated risks in soils affected by wildfires: a review. *Toxics*. 2022. V. 10. № 1. C. 31.
9. González-Pérez J. A. et al. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment international*. 2004. V. 30. № 6. Pp. 855-870.
10. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 2005. No 143. Pp. 1-10.
11. Santos F., Bird J. A., Berhe A. A. Dissolved pyrogenic carbon leaching in soil: Effects of soil depth and pyrolysis temperature. *Geoderma*. 2022. V. 424. P. 116011.
12. Румянцев Д. Е., Черкашев А. В. Методические подходы для определения возраста деревьев. *Принципы экологии*. 2020. № 4 (38). С. 104-117.
13. Нагимов З. Я., Шевелина И. В., Коростелёв И. Ф. Приборы, инструменты и устройства, для таксации леса. Екатеринбург, 2019. 213 с.
14. Перекрестов Н. В. Почвенно-климатические условия Городищенского района Волгоградской области. *Вестник Прикаспия*. 2017. № 3 (18). С. 25-31.
15. Garrido-Ruiz C. et al. Fire impacts on soil and post fire emergency stabilization treatments in Mediterranean-climate regions. *Chilean journal of agricultural research*. 2022. V. 82. № 2. Pp. 335-347.
16. Badía D. et al. Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: changes at cm-scale topsoil. *Catena*. 2014. V. 113. Pp. 267-275.

References

1. Alfaro-Leranz A. et al. Long-term evolution of shrub prescribed burning effects on top-soil organic matter and biological activity in the Central Pyrenees (NE-Spain). *Science of The Total Environment*. 2023. V. 888. P. 163994.
2. Liu H. et al. Nature-based framework for sustainable afforestation in global drylands under changing climate. *Global change biology*. 2022. V. 28. № 7. Pp. 2202-2220.
3. Singh M., Huang Z. Analysis of forest fire dynamics, distribution and main drivers in the Atlantic Forest. *Sustainability*. 2022. V. 14. № 2. P. 992.
4. Kirillov S. N., Egorova E. V. Main Trends in the Occurrence of Landscape Fires in the Territory of Russia and the Volgograd Region. *Bulletin of Volgograd State University. Series 3: Economics. Ecology*. 2012. № 1 (20). Pp. 298-304.
5. Law B. E. et al. Creating strategic reserves to protect forest carbon and reduce biodiversity losses in the United States. *Land*. 2022. V. 11. № 5. P. 721.
6. Roshan A., Biswas A. Fire-induced geochemical changes in soil: Implication for the element cycling. *Science of The Total Environment*. 2023. V. 868. P. 161714.
7. Agbeshie A.A., Abugre S., Atta-Darkwa T. et al. A review of the effects of forest fire on soil properties. *J. For. Res.* 2022. No 33. Pp. 1419-1441.
8. Fernandez-Marcos M. L. Potentially toxic substances and associated risks in soils affected by wildfires: a review. *Toxics*. 2022. V. 10. № 1. C. 31.
9. González-Pérez J. A. et al. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment international*. 2004. V. 30. № 6. Pp. 855-870.
10. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 2005. No 143. Pp. 1-10.
11. Santos F., Bird J. A., Berhe A. A. Dissolved pyrogenic carbon leaching in soil: Effects of soil depth and pyrolysis temperature. *Geoderma*. 2022. V. 424. P. 116011.
12. Rumyantsev D. E., Cherakshiev A. V. Methodological approaches for determining the age of trees. *Principles of ecology*. 2020. № 4 (38). Pp. 104-117.
13. Nagimov Z. Ya., Shevelina I. V., Korostelyov I. F. Devices, Tools and Devices for Forest Taxation. Yekaterinburg, 2019. 213 p.
14. Perekrstov N. V. Soil and climatic conditions of the Gorodishchensky district of the Volgograd region. *Vestnik Prikaspiya*. 2017. № 3 (18). Pp. 25-31.
15. Garrido-Ruiz C. et al. Fire impacts on soil and post fire emergency stabilization treatments in Mediterranean-climate regions. *Chilean journal of agricultural research*. 2022. V. 82. № 2. Pp. 335-347.
16. Badía D. et al. Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: changes at cm-scale topsoil. *Catena*. 2014. V. 113. Pp. 267-275.

Информация об авторах

Верещагин Евгений Константинович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID № 0000-0002-1645-3499, e-mail: vereshagin-e@vfanc.ru

Данченко Иван Алексеевич, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID № 0009-0007-4726-7529, e-mail: danchenko-i@vfanc.ru

Федотова Анна Владиславовна, заместитель директора по научной работе, доктор биологических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID № 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Authors' Information

Vereshchagin Evgeniy Konstantinovich, Junior Researcher, postgraduate student, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0002-1645-3499, e-mail: vereshagin-e@vfanc.ru

Danchenko Ivan Alekseevich, Laboratory assistant Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID № 0009-0007-4726-7529, e-mail: vereshagin-e@vfanc.ru

Fedotova Anna Vladislavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID № 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-21

THE ECONOMIC AND BIOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CLONAL ROOTSTOCKS OF STONE FRUIT CROPS IN THE ARID CONDITIONS OF THE NORTHERN CASPIAN REGION**Klimov S. V.**

*Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoje Zaymische, Chernoyarsky District, Astrakhan Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: klimov2020@rambler.ru

Received 29.11.2024

Submitted 09.01.2025

Summary

The longevity and productivity of cherry and cherry orchards depends on the choice of rootstock. However, in new technologies, seed stocks turned out to be completely unsuitable, due to their overgrowth, heterogeneity, lack of adaptability and compatibility, as well as late entry into fruiting. Modern intensive technologies for cultivating fruit crops require high-quality planting material. To solve this problem, when laying intensive orchards of sweet cherries and cherries, it is necessary to use clonal rootstocks. New rootstocks should be universal for these crops, have easy vegetative reproduction, surpass standard rootstocks in adaptability, low growth, early fertility, and have good compatibility with all varieties, which is the main goal of our research.

Abstract

Introduction. Growing seedlings on low-growing rootstocks is attracting more and more attention from gardeners in our country, as it has a number of advantages over strong-growing ones. First of all, the small size of the trees makes it possible to plant a significantly larger number of them per unit area, and this contributes to the creation of a powerful canopy of leaves in a short period of time, ensuring an early and high harvest. To establish gardens with denser placement of trees, it is necessary to increase the production of high-quality planting material adapted to growing conditions and characterized by high technological efficiency. In this regard, the purpose of the research was to study economically valuable signs of introduced rootstocks, to improve the methods of reproduction of rootstocks of stone crops in the arid conditions of the Northern Caspian Sea. **Object.** Four clone rootstocks were used for the study: VSL-2, LC-52, VC-13 and Izmailovsky – for cherries and sweet cherries. **Materials and methods.** The studies were conducted in accordance with the "Methodological recommendations for the comprehensive study of clonal rootstocks of apple trees", Gulko I.P., 1982, "Methodological studies on laying the queen cell with vertical and horizontal layers", Zuev V. F., Tatarinov A. N., 1984, qualitative assessment of clonal rootstocks of stone crops was carried out in accordance with GOST R 53135-2008). **Results and conclusions.** В результате проведенных исследований было установлено, что практически все высаживаемые осенью подвои показали хорошую приживаемость 98,6...99,2 % и подходили к окулировке 96,9 %. У сорта вишни Молодежная на подвоях ВЦ-13 и ЛЦ-52 в среднем за три года процент приживаемости глазков составил 85,4...85,7 %, на черешни Апрелька и Мак на подвое ВЦ-13, выход товарных саженцев составил 88...91 %.

Keywords: stone fruit crops, clonal rootstocks of stone fruit crops, fruit and berry crops, low-growing clonal rootstocks.

Citation. Klimov S. V. The economic and biological assessment of the clonal rootstocks of stone fruit crops in the arid conditions of the Northern Caspian region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 198-204 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-21.

Author's contribution. The author of this study was directly involved in the execution and analysis of this work. The author of the article approved the submitted final version.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

УДК 634.2:631.535:631.541.11

ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ КОСТОЧКОВЫХ КУЛЬТУР В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

Климов С. В., младший научный сотрудник

ФГБНУ Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН
с. Соленое Займище, Черныйярский район, Астраханская область, Российская Федерация

Актуальность. Выращивание саженцев на слаборослых подвоях привлекает все большее внимание садоводов нашей страны, как имеющее целый ряд преимуществ перед сильнорослыми. Прежде всего, небольшие размеры деревьев позволяют высаживать значительно большее их количество на единицу площади, а это способствует созданию за короткий промежуток времени мощного полога листьев, обеспечивающих получение раннего и высокого урожая. Для закладки садов с более плотным размещением деревьев необходимо увеличивать производство посадочного материала высокого качества, адаптированного к условиям произрастания и отличающегося высокой технологичностью. В связи с этим целью исследований являлось изучить хозяйственно ценные признаки интродуцированных подвоев, усовершенствовать способы размножения подвоев косточковых культур в аридных условиях Северного Прикаспия. **Объект.** Для изучения были привлечены 4 клоновых подвоя ВСЛ-2, ЛЦ-52, ВЦ-13 и Измайловский – для вишни и черешни. **Материалы и методы.** Исследования велись в соответствии с «Методическими рекомендациями по комплексному изучению клоновых подвоев яблони», Гулько И. П., 1982 г., «Методическими изучениями по закладке маточника вертикальными и горизонтальными отводками», Зуев В. Ф., Татаринов А. Н., 1984 г., качественная оценка клоновых подвоев косточковых культур осуществлялась в соответствии с ГОСТ Р 53135-2008 г. **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований было установлено, что практически все высаживаемые осенью подвои показали хорошую приживаемость 98,6...99,2 % и подходили к окулировке 96,9 %. У сорта вишни Молодежная на подвоях ВЦ-13 и ЛЦ-52 в среднем за три года процент приживаемости глазков составил 85,4...85,7 %, у черешни Апрелька и Мак на подвое ВЦ-13 выход товарных саженцев составил 88...91 %.

Ключевые слова: косточковые культуры, клоновые подвои косточковых культур, плодово-ягодные культуры, слаборослые клоновые подвои.

Цитирование. Климов С. В. Хозяйственно-биологическая оценка клоновых подвоев косточковых культур в аридных условиях Северного Прикаспия. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 198-204. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-21.

Авторский вклад. Автор этого исследования принимал непосредственное участие в выполнении и анализе данной работы. Автор статьи одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время важнейшей задачей садоводства является увеличение производства плодово-ягодных культур. Обеспечение населения высококачественными плодами и ягодами может быть достигнуто на основе дальнейшей концентрации отрасли, а также ее интенсификации. Переход на интенсивное садоводство нуждается в формировании крупной современной базы маточников клоновых подвоев, возделываемых по новейшей технологии, которые будут выращивать посадочный материал высокого качества [1, 2, 3].

Посадка плодовых деревьев на слаборослых вегетативно размножаемых (клоновых) подвоях обеспечивает скороплодность привитых на них сортов, благодаря небольшим размерам такие сады удобно обрабатывать от болезней и вредителей, ухаживать за кроной, в результате выход плодов высокого качества. Между тем такие сады в зонах промышленного садоводства Астраханской области занимают незначительные площади. Сдерживающими факторами роста площадей является слабая изученность хозяйственно-биологических особенностей подвоев в различных почвенно-климатических условиях области, отсутствие достаточного количества маточников, а, следовательно, и незначительный выпуск посадочного материала [4, 5, 6, 7].

Для разрешения этого вопроса необходимо в каждой зоне садоводства подобрать подвой, которые имеют высокую адаптивность к условиям произрастания, легко размножаются вегетативно, обеспечивают высокий выход саженцев районированных и перспективных сортов высокого качества. Насаждения интенсивного типа являются очень рентабельными, благодаря раннему вступлению в товарное плодоношение и минимальным затратам по уходу, в кратчайшие сроки окупает вложенные средства [8, 9, 10].

В Астраханской области культура плодовых насаждений на клоновых подвоях получает все большее распространение. Созданные в последнее время в научно-исследовательских учреждениях страны клоновые подвои косточковых культур представляют интерес для изучения и использования в аридной зоне Северного Прикаспия. Некоторые из них завезены в Астраханскую область, где проходят экологическую и технологическую оценку в маточниках, в полях питомника и в саду [6, 7, 8].

Методика и методы исследований. Научные работы велись на участке опытного сада ФГБНУ «ПАФН РАН», расположенного во втором агроклиматическом районе Астраханской области, условия близкие к полупустыням. Опыт был заложен в 2022-2024 гг. в соответствии с общепринятыми методиками. Хозяйственно-биологическая оценка клоновых подвоев косточковых культур проводилась в соответствии с «Методическими рекомендациями по комплексному изучению клоновых подвоев яблони», Гулько И. П., 1982 г. Качественная оценка клоновых подвоев косточковых культур в соответствии с ГОСТ Р 53135-2008 г. [11, 12].

Для изучения в маточнике вертикальных отводков были выбраны 4 подвоя ВСЛ-2, ЛЦ-52, ВЦ-13 Крымской опытно-селекционной станции и Измайловский из ФГБНУ «ФНЦ Садоводства». За контроль был взят ВСЛ-2 – для вишни и черешни.

В первом поле питомника на эти подвои были привиты районированные и перспективные сорта косточковых культур: Дубовочка, Лозновская, Молодежная (вишня); Апрелька, Анонс, Мак (черешня).

Схема размещения растений однорядная, расстояние между рядами – 0,7 м, в ряду между растениями – 0,2 м. Высажено по 10 штук каждой формы в трехкратной повторности.

За сезоны 2022...2024 годов на опытных участках для поддержания оптимальной влажности почвы (НВ 70-80 %) ежегодно проводилось 30-35 поливов. Основная их часть приходилась на весенне-летний период. Норма полива составляла 140...180,0 м³/га.

Ежегодно в конце октября – начале ноября проводился влагозарядковый полив из расчета 900-1200 м³/га для запаса значительного количества влаги до следующего вегетационного периода.

Результаты и обсуждения. Перевод плодовых культур на слаборослые клоновые подвои возможен лишь при условии их высокой зимостойкости и при наличии соответствующей технологии производства посадочного материала на них [13, 14].

За три года изучения зимы были умеренно мягкими, с небольшим количеством отрицательных температур. Косточковые подвои хорошо перезимовывали, подмерзания корневой системы не выявлялось. Как показали трехлетние наблюдения, первым начало отрастания маточных кустов отмечалось у подвоя ЛЦ-52 (первая-вторая декада марта). Затем, через 6...10 суток (третья декада марта – первая декада апреля), наблюдалось отрастание маточных кустов у основной массы подвоев. Позднее всего вегетация наступала у подвоя ВСЛ-2 (первая – вторая декада апреля), который является контролем для вишни и черешни.

Основной показатель при изучении подвоев в маточнике – их продуктивность. По полученным данным, лучшей продуктивностью за время наблюдений отметились подвои ЛЦ-52 и ВЦ-13, у которых она в среднем за три года составила 20,8 отводков с одного куста, что выше контроля на 10,2 шт. Наименьшая продуктивность отмечена у подвоя Измайловский, которая составила 8,7 отводка с одного куста. По количеству стандартных отводков все испытываемые подвои находились примерно на одном уровне 73,1...81,6 %, на контроле этот показатель составил 65,0 % (рисунок 1).

Наибольший выход стандартных отводков также был получен на подвоях ЛЦ-52 (77,9 %) и ВЦ-13 (81,6 %), что на 12,9 и 16,6 % выше контрольного варианта ВСЛ-2.

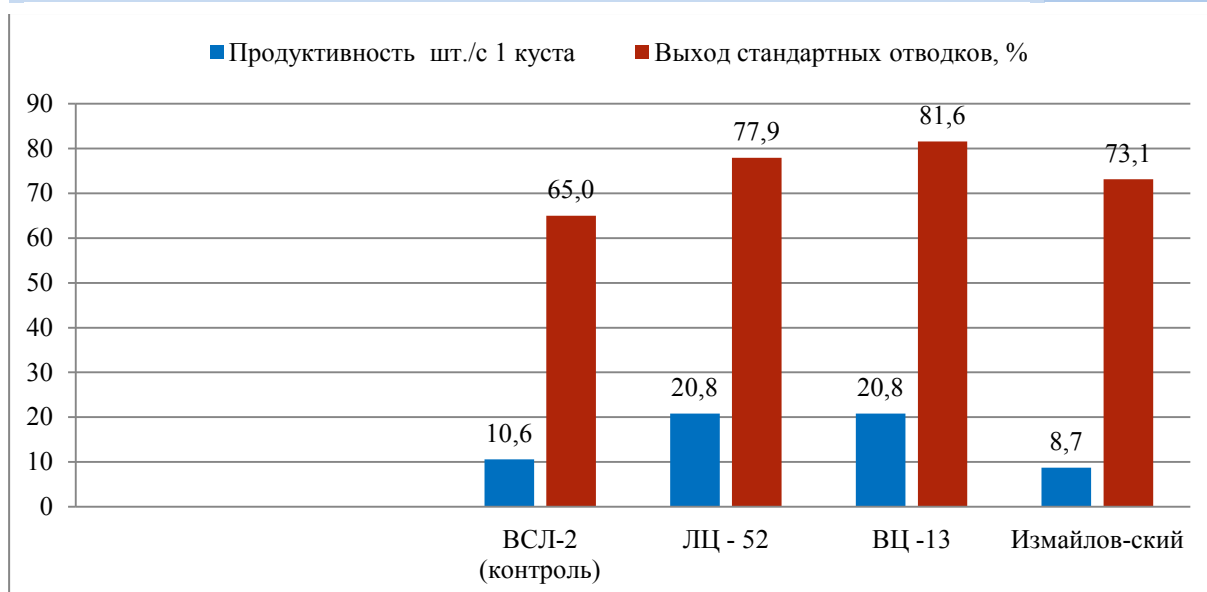


Рисунок 1 – Продуктивность и выход стандартных отводков слаборослых подвоев косточковых культур в маточнике (средне за 2022-2024 гг.)
Figure 1 – Productivity and yield of standard layers of low-growing rootstocks of stone crops in the queen cell (average for 2022-2024)

В последней декаде октября – первой декаде ноября за три исследуемых года на доращивание в первое поле питомника в общей сложности было высажено 2033 шт. косточковых подвоев, выращенных методом зеленого черенкования, в том числе: ЛЦ-52 – 426 шт., ВЦ-13 – 594 шт., ВСЛ-2 – 763 шт., Измайловский – 250 шт.

Приживаемость подвоев оценивалась в середине апреля и в общем за три года составила 98,7 % от числа высаженных на доращивание. Такая высокая приживаемость объясняется тем, что к моменту высадки все подвои, размноженные методом зеленого черенкования, имели достаточно мощную корневую систему, которая позволяла им хорошо перезимовывать и благополучно начинать вегетацию весной, даже в отсутствии раннего полива (таблица 1).

Таблица 1 – Приживаемость клоновых подвоев для вишни и черешни в первом поле питомника, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», (общее за 2022...2024 гг.)
Table 1 – Survival rate of clonal rootstocks for cherries and sweet cherries in the first field of the nursery, FGBNU PAFNTS RAS, (total for 2022-2024)

Подвой / Rootstock	Кол-во высаженных подвоев, шт. / Number of rootstocks planted, pcs.	Кол-во подвоев без корней, шт. / Number of rootstocks without roots, pcs.	Кол-во прижившихся подвоев, шт. / Number of rootstocks, pcs.	Прижившихся, % / Survived, %	Подходящих к окулировке, % / Suitable for budding, %
ВСЛ-2 (контроль) / VSL-2 (control)	763	15	750	98,3	95,2
Измайловский / Izmailovsky	250	2	248	99,2	96,5
ЛЦ-52 / LC-52	426	5	421	98,8	96,7
ВЦ-13 / VC-13	594	7	586	98,6	95,4
Итого / Total	2033	29	2005	98,7	96,9

Нужно отметить, что пересыхание почвы, особенно в середине весны, когда еще нет поливов, отрицательно влияет на приживаемость и дальнейшую вегетацию подвоев. Поэтому ежегодная посадка подвоев на доращивание в первое поле питомника осенью проводилась в борозду, чтобы обеспечить их осенний полив для лучшего укоренения. В результате трехлетних наблюдений практически все высаживаемые осенью подвои показали хорошую приживаемость 98,6...99,2 % и подходили к окулировке 96,9 %.

Подошедшие к окулировки подвои ВЦ-13, ЛЦ-52, Измайловский были привиты сортами вишни Дубовочка, Лозновская, Молодежная и черешни Апрелька, Анонс, Мак. На контроле ВСЛ-2 комбинации этих же сортов.

Ежегодно во втором поле питомника в изучении находилось 24 привойно-подвойных комбинаций вишни и черешни.

За трехлетний период исследований в среднем было получено 79,5 % однолетних саженцев от числа заокулированных отводков. Процент приживаемости глазков на исследуемых культурах значительно варьировал от 59,3 до 86,5 %. Так, на сорте вишни Молодежная на подвоях ВЦ-13 и ЛЦ-52 в среднем за три года он составил 85,4...85,7 %, что выше контроля на 5,5...5,8 %. Наибольший выход саженцев первого сорта отмечен на подвоях ВЦ-13, ЛЦ-52 сорт Молодежная (91 % и 96 %, соответственно). На черешне хорошими показателями характеризовались сорта Апрелька и Мак на подвое ВЦ-13 приживаемость глазков составила 83,1-86,2 %, что на 16,9 и 14,8 % выше контроля, а выход товарных саженцев составил 88 % и 91 % (таблица 2).

Таблица 2 – Выход саженцев по товарным сортам, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022...2024 гг.
Table 2 – Yield of seedlings by commodity grades, Federal State Budgetary Institution "PAFSC RAS", 2022-2024

FAFSC RAS , 2022-2024					
Подвой / Rootstock	Сорт / Sort	Приживаемость глазков (среднее за 3 года), % / Survival rate (average for 3 years), %	Выход саженцев (среднее за 3 года), % / Yield of seedlings (average for 3 years), %		
			I сорт / sort I	II сорт / sort II	Нестандартные / Custom
Вишня / Cherry					
ВСЛ-2 (к) / VSL-2 (c)	Дубовочка / Dubovochka	62,2	84	15	1
ВСЛ-2 (к) / VSL-2 (c)	Лозновская / Loznovskaya	71,3	75	18	7
ВСЛ-2 (к) / VSL-2 (c)	Молодежная / Molodioznaya	79,9	82	15	3
ВЦ-13 / VC-13	Дубовочка / Dubovochka	86,5	91	7	2
ВЦ-13 / VSL-2 (c)	Лозновская / Loznovskaya	75,8	87	9	4
ВЦ-13 / VSL-2 (c)	Молодежная / Molodioznaya	85,4	93	7	-
ЛЦ-52 / LC-52	Дубовочка / Dubovochka	67,1	74	22	4
ЛЦ-52 / LC-52	Лозновская / Loznovskaya	76,2	84	16	-
ЛЦ-52 / LC-52	Молодежная / Molodioznaya	85,7	96	3	1
Измайловский / Izmailovsky	Дубовочка / Dubovochka	62,4	81	15	4
Измайловский / Izmailovsky	Лозновская / Loznovskaya	59,3	77	20	3
Измайловский / Izmailovsky	Молодежная / Molodioznaya	73,8	75	20	5
НСР05 АВ		4,6			
Черешня / Cherry					
ВСЛ-2 (к) / VSL-2 (c)	Апрелька / Aprelka	66,2	59	35	4
ВСЛ-2 (к) / VSL-2 (c)	Анонс / Announs	85,9	82	17	1
ВСЛ-2 (к) / VSL-2 (c)	Мак / Mak	71,4	71	25	4
ВЦ-13 / VSL-2 (c)	Апрелька / Aprelka	83,1	88	12	-
ВЦ-13 / VSL-2 (c)	Анонс / Announs	72,8	84	15	1
ВЦ-13 / VSL-2 (c)	Мак / Mak	86,2	91	4	5
ЛЦ-52 / LC-52	Апрелька / Aprelka	78,5	77	21	2
ЛЦ-52 / LC-52	Анонс / Announs	74,6	82	14	4
ЛЦ-52 / LC-52	Мак / Mak	82,4	77	16	7
Измайловский / Izmailovsky	Апрелька / Aprelka	65,3	72	26	2
Измайловский / Izmailovsky	Анонс / Announs	69,4	85	13	2
Измайловский / Izmailovsky	Мак / Mak	78,1	74	20	4
НСР05 АВ		6,1			

Выводы. В результате проведенных трехлетних исследований было установлено, что наиболее перспективными в засушливых условиях Астраханской области показали себя карликовые подвои ЛЦ-52 и ВЦ-13 Крымской опытно-селекционной станции. По количеству стандартных отводков в маточнике, подвои превзошли контрольный вариант на 12,9...16,6 %. За три года изучения показали наилучшую приживаемость глазков и хороший выход товарных саженцев.

Таким образом, внедрение данных подвоев поможет увеличить выход стандартных саженцев в плодовых питомниках, что в конечном итоге увеличит продуктивность и рентабельность выращивания косточковых культур при закладке садов интенсивного типа.

Conclusions. As a result of three years of research, it was found that the dwarf rootstocks LC-52 and VC-13 of the Crimean experimental breeding Station proved to be the most promising in the arid conditions of the Astrakhan region. In terms of the number of standard layers in the masterbatch, the rootstocks exceeded the control variant by 12.9...16.6 %. Over three years of study, they showed the best survival rate of the eyes and a good yield of commercial seedlings.

Thus, the introduction of these rootstocks will help to increase the yield of standard seedlings in fruit nurseries, which will ultimately increase the productivity and profitability of growing stone crops when planting intensive orchards.

Библиографический список

1. Савин Е. З., Чугунов В. Г., Антипенко М. И., Кузнецов А. А. Итоги селекционной работы клоновых подвоев яблони в Волго-Уральском регионе. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (97). С. 98-108.
2. Самусь В. А., Левшунов В. А., Драбудко Н. Н., Шкробова М. А. Клоновые подвои плодовых культур в Беларуси. Научные труды СКФНЦСВВ. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ. 2018. Т. 17. С. 80-83.
3. Галашева А. М., Седов Е. Н. Триплоидные сорта яблони летнего срока созревания селекции ВНИИСПК на клоновом подвое 54-118. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 6. С. 34-36.
4. Ostrikova O. V., Fedotova I. E., Kharkhardina E. L., Shakhov V. V. Optimization of the technology of clonal micropropagation of cherry varieties and clonal rootstocks at the initial stages of in vitro cultivation. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 254.
5. Тютюма Н. В., Климов С. В. Зеленое черенкование как эффективный метод размножения клоновых подвоев косточковых культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 44-50.
6. Журавлева А. В. Стимуляторы корнеобразования и их влияние на укоренение зеленых и одревесневших черенков клоновых подвоев груши. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 4 (60). С. 33-37.
7. Еремина О. В., Еремин В. Г., Смирнова Е. А. Укореняемость перспективных клоновых подвоев для черешни и вишни и их совместимость с привоем в питомнике. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 64 (4). С. 118-127.
8. Tsurulnikova N. V., Nikulina E. A., Akimova S. V., et al. In vitro Effect of Replacement Mineral Salts of Trace Elements with P-containing Chelates to Improve Rooting of Cherry Rootstock (cv. VC-13). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 663.
9. Савин Е. З., Чугунов В. Г., Антипенко М. И., Кузнецов А. А. Продуктивность и экономическая эффективность выращивания яблони на клоновых подвоях в условиях Среднего Поволжья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (96). С. 61-66.
10. Минин А. Н., Быстрова Е. Д., Мальцева М. В. Изучение и размножение клоновых подвоев косточковых культур в Самарской области. Селекция и сортоизучение плодовых и ягодных культур. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Кинель, 2024. С. 52-58.
11. Гулько И. П. Методические рекомендации по комплексному изучению клоновых подвоев яблони. К.: Аграрная наука. 1982. 20 с.
12. Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая: ГОСТ Р 53-135-2008. М., 2009. 45 с.
13. Еремина О. В., Еремин В. Г., Смирнова Е. А. Укореняемость перспективных клоновых подвоев для черешни и вишни и их совместимость с привоем в питомнике. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 64 (4). С. 118-127.
14. Амосова М. А., Егорова О. В., Авакимян А. О. размножение перспективных клоновых подвоев для вишни и черешни in vitro. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. № 82 (4). С. 100-109.

References

1. Savin E. Z., Chugunov V. G., Antipenko M. I., Kuznetsov A. A. Results of breeding work of clone rootstocks of apple trees in the Volga-Ural region. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2022. No. 5 (97). Pp. 98-108.
2. Samus V. A., Levshunov V. A., Drabudko N. N., Shkrobova M. A. Clone rootstocks of fruit crops in Belarus. Scientific works of the NCFNTSSVV. Krasnodar, 2018. Vol. 17. Pp. 80-83.
3. Galasheva A. M., Sedov E. N. Triploid varieties of apple trees of the summer ripening period of VNIISPK breeding on clone rootstock 54-118. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2021. No. 6. Pp. 34-36.
4. Ostrikova O. V., Fedotova I. E., Kharkhardina E. L., Shakhov V. V. Optimization of the technology of clonal micropropagation of cherry varieties and clonal rootstocks at the initial stages of in vitro cultivation. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 254.
5. Tyutyuma N. V., Klimov S. V. Green cuttings as an effective method of propagation of clonal rootstocks of stone crops. Izvestia of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex. Science and higher professional education. 2021. No 4 (64). Pp. 44-50.

6. Zhuravleva A. V. Root formation stimulators and their effect on the rooting of green and lignified cuttings of clonal rootstocks of pears. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2020. Vol. 15. No. 4 (60). Pp. 33-37.
7. Eremina O. V., Eremin V. G., Smirnova E. A. Rootability of promising clone rootstocks for sweet cherries and cherries and their compatibility with grafting in the nursery. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2020. No 64 (4). Pp. 118-127.
8. Tsiurlikova N. V., Nikulina E. A., Akimova S. V., et al. In vitro Effect of Replacement Mineral Salts of Trace Elements with P-containing Chelates to Improve Rooting of Cherry Rootstock (cv. VC-13). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 663.
9. Savin E. Z., Chugunov V. G., Antipenko M. I., Kuznetsov A. A. Productivity and economic efficiency of apple tree cultivation on clone rootstocks in the conditions of the Middle Volga region. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2022. No. 4 (96). Pp. 61-66.
10. Minin A. N., Bystrova E. D., Maltseva M. V. Study and reproduction of clonal rootstocks of stone crops in the Samara region. Breeding and variety study of fruit and berry crops. Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference. Kinel, 2024. Pp. 52-58.
11. Gulko I. P. Methodological recommendations for the comprehensive study of clonal rootstocks of apple trees. K.: Agrarian Science. 1982. 20 p.
12. Planting material of fruit, berry, subtropical, nut-bearing, citrus crops and tea: GOST R 53-135-2008. Moscow, 2009. 45 p.
13. Eremina O. V., Eremin V. G., Smirnova E. A. Rootability of promising clone rootstocks for sweet cherries and cherries and their compatibility with grafting in the nursery. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2020. No. 64 (4). Pp. 118-127.
14. Amosova M. A., Egorova O. V., Avakimyan A. O. Reproduction of promising clone rootstocks for cherries and sweet cherries in vitro. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2023. No. 82 (4). Pp. 100-109.

Информация об авторах

Климов Сергей Валерьевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), e-mail: klimov2020@rambler.ru

Author's Information

Klimov Sergey Valerievich, junior researcher, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, Solenoe Zaymishche, Severny quarter, 8), e-mail: klimov2020@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-22

**MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND PHYTOMASS OF *ULMUS PUMILA*
PLANTATIONS IN THE CONDITIONS OF THE DRY STEPPE ZONE
OF THE LOWER VOLGA REGION**

Potashkina Yu. N.

*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: potashkina-y@vfanc.ru

Received 08.02.2025

Submitted 17.04.2025

The research was carried out within the framework of the project FNFE-2025-0003 "Formation and functioning of adaptive agroforestry complexes in the south of Russia under conditions of climate change using digital technologies".

Summary

The article presents the results of determining the fractional composition of the organic matter stock of phytomass of *Ulmus pumila* at the test site "Kachalino" located in the zone of dry steppes of chestnut soils.

Abstract

Introduction. In sparsely forested regions agroforestry plantations perform the most important functions in environmental stabilization, one of which is climatic, i.e. absorption of climatically active gases by forest plantations. According to the strategy of protective afforestation until 2035, the total area of protective forest plantations in the Volgograd region is 130693 hectares. One of the actively used species in protective afforestation is *Ulmus*. The key indicators that determine the full realization of the climatic function is the stock of phytomass, which is the living plant matter of ecosystems (wood of living trees, etc.). **Object.** A stand of squat elm (*Ulmus pumila* L.) of the test site "Kachalino". **Materials and methods.** Determination of phytomass stock was carried out according to the data obtained in the field season 2023-2024. By the method of continuous enumeration taxation the territories were surveyed with the establishment of sample areas and determination of the necessary taxation parameters. On the basis of the results obtained and using allometric model with height and trunk diameter as regressors and using constants, the stock of organic matter of phytomass was calculated by the calculation method. **Results and conclusion.** Elm woodlands at the age of 38 years have a mean height of 10 ± 1.1 m and a mean diameter of 1.46 ± 3.5 cm. This age period corresponds to the III class of bonitet. The density is 1266 pcs/ha. In the forest strips there are dry and dry-

headed trees, as well as some trees have drying of some large branches. In all strips there are BLC (large woody debris). Elm phytomass reserve amounted to 40.5 t/ha. The greatest importance in the fractional structure of phytomass is given to the trunk with bark on forest strips on this share is from 68 to 84 %. The total stock of phytomass in the surveyed field protective forest strips amounted to 486 t, of which 359 t – trunk with bark, 77 t – skeleton of branches, 50 t – photosynthetic organs.

Keywords: *phytomass, squat elm (*Ulmus pumila* L.), protective forest plantations, taxation, allometric model.*

Citation. Potashkina Yu. N. Morphometric characteristics and phytomass of *Ulmus pumila* plantations in the conditions of the dry steppe zone of the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 204-212 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-22.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*5

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФИТОМАССА НАСАЖДЕНИЙ *ULMUS PUMILA* В УСЛОВИЯХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Поташкина Ю. Н., аспирант, младший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения проекта FNFE-2025-0003 «Формирование и функционирование адаптивных агролесомелиоративных комплексов юга России в условиях климатических изменений с использованием цифровых технологий».

Актуальность. В малолесных регионах агролесомелиоративные насаждения выполняют важнейшие функции в стабилизации окружающей среды, одной из которых является климатическая, т.е. поглощение лесными насаждениями климатически активных газов. Согласно стратегии защитного лесоразведения до 2035 года к настоящему моменту общая площадь защитных лесных насаждений в Волгоградской области составляет 130693 га. Одной из активно используемых пород в защитном лесоразведении является *Ulmus*. Ключевым показателем, определяющим полноту реализации климатической функции, является запас фитомассы, которая представляет собой живое растительное вещество экосистем (древесина живых деревьев и т.д.). **Объект.** Древостой вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) тестового полигона «Качалино». **Материалы и методы.** Определение запаса фитомассы проводилось по данным, полученным в полевой сезон 2023-2024 гг. Методом сплошной перечислительной таксации было проведено обследование территорий с закладкой пробных площадей и определением необходимых таксационных параметров. На основании полученных результатов и использования аллометрической модели, в качестве регрессоров, у которой выступают высота и диаметр ствола с использованием констант расчетным методом был рассчитан запас органического вещества фитомассы. **Результаты и выводы.** Вязовые лесные полосы в возрасте 38 лет имеют среднюю высоту $10\pm 1,1$ м и средний диаметр $14,6\pm 3,5$ см. Данному возрастному периоду соответствует III класс бонитета. Густота составляет 1266 шт./га. В лесных полосах отмечено наличие сухостойных и суховершинных деревьев, также у ряда деревьев наблюдается усыхание отдельных крупных ветвей. Во всех полосах присутствуют КДО (крупные древесные остатки). Запас фитомассы вяза составил 40,5 т/га. Наибольшее значение в фракционной структуре фитомассы отводится стволу с корой, по лесным полосам на эту долю приходится от 68 до 84 %. Общий запас фитомассы в обследуемых полезащитных лесных полосах составил 486 т, из которых 359 т – ствол с корой, 77 т – скелет ветвей, 50 т – фотосинтезирующие органы.

Ключевые слова: *фитомасса, вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), защитные лесные насаждения, таксация, аллометрическая модель.*

Цитирование. Поташкина Ю. Н. Морфометрические характеристики и фитомасса насаждений *Ulmus pumila* в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 204-212. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-22.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Согласно ст. 2 ФЗ № 4 «О мелиорации земель» агролесомелиоративные насаждения представляют собой лесные насаждения естественного происхождения или искусственно созданные на землях сельскохозяйственного назначения или на землях,

предназначенных для осуществления производства сельскохозяйственной продукции, в целях предотвращения деградации земель и защиты их от негативного воздействия природного и антропогенного характера посредством использования почвозащитных и иных полезных функций агролесомелиоративных насаждений (Федеральный закон "О мелиорации земель" от 10.01.1996 N 4-ФЗ).

Агролесомелиоративные насаждения выполняют важнейшие функции в стабилизации окружающей среды. Так, открытые степные ландшафты преобразуются в лесоаграрные. На территориях, подверженных масштабному агролесомелиоративному обустройству, существенно снижается интенсивность появления засух, пыльных бурь и эрозии почв [1, 2]. Как одно из составляющих агролесомелиоративные насаждения включают в себя группу полеззащитных лесных полос (ПЗЛП) на пахотных неорошаемых землях сельскохозяйственного назначения (Агролесомелиорация. 2006). В агроландшафте благодаря агролесомелиоративным мероприятиям формируется особый микроклимат поля, что способствует увеличению урожайности культур. ПЗЛП воздействуют на ветровые потоки, снижая скорость ветра, повышают влажность почвы, уменьшают испарение влаги и в целом улучшают гидрологический режим агроландшафта [3].

Помимо описанных общепринятых функций защитных лесных насаждений научное сообщество во второй половине XX века в связи с обострением климатических изменений начало рассматривать искусственно созданные насаждения с точки зрения климаторегулирующей функции, в дополнение к естественным лесными экосистемами [4]. Особенно актуально данное утверждение для малолесных регионов с нарастающей аридизацией климата, к которым относится часть регионов юга России, в том числе Волгоградская область [5]. Так, согласно Стратегии развития защитного лесоразведения в Волгоградской области на период до 2035 года к текущему моменту имеющаяся площадь защитных насаждений составляет 130693 га [6]. Одной из активно используемых пород в защитном лесоразведении и городском озеленении в полупустынной и сухостепной зонах является *Ulmus*, отличающийся своей засухоустойчивостью и морозостойкостью. Древостой вяза не подвержен изменению гранулометрического состава и водорастворимых солей в почве. Отмечается высокая сохранность у спелых и приспевающих насаждений [7, 8, 9].

Традиционно одним из предикторов, определяющих выполнения климатической функции, лесными насаждениями считается запас фитомассы [10]. Фитомасса представляет собой живое растительное вещество экосистем (древесина живых деревьев, содержащая живые и мертвые клетки, как и кора, относится к фитомассе в целом) [11]. Чем выше величина запаса фитомассы, тем активнее в экосистеме происходят процессы поглощения климатически активных газов [10]. Так, в связи с этим актуальным является проведение исследований по расчету запаса фитомассы преобладающих древесных пород в малолесных регионах сухостепной зоны.

Цель настоящей работы заключалась в определении запаса фитомассы (*Ulmus pumila* L.), как одного из преобладающих видов, используемых в защитном лесоразведении в сухостепной зоне.

Материалы и методы. Полевые исследования по таксационно-мелиоративной оценке проводились на территории землепользования «Качалино» (рисунок 1). Опытное-производственное хозяйство «Качалино» расположено в южной части Иловлинского района Волгоградской области. Площадь полигона составляет 3950 га, площадь защитных лесных насаждений 1501,86 га. Работы по проектированию и посадке лесных полос на объекте исследования велась в период с 1985 по 1992 гг. По геоморфологическому делению территория хозяйства находится на юго-западном окончании Приволжской возвышенности. Рельеф территории полого-волнистый, расчленен балками. Климат района резко континентальный с жарким сухим летом и холодной малоснежной зимой, характерной особенностью климата является его засушливость. Весенний период характеризуется быстрым нарастанием положительных температур и интенсивным снеготаянием. Землепользование хозяйства расположено в сухостепной зоне каштановых почв, сформировавшихся на темно-бурых четвертичных отложениях, представленных средними и тяжелыми суглинками. Наиболее распространенные по территории хозяйства почвы – каштановые маломощные различного гранулометрического состава.

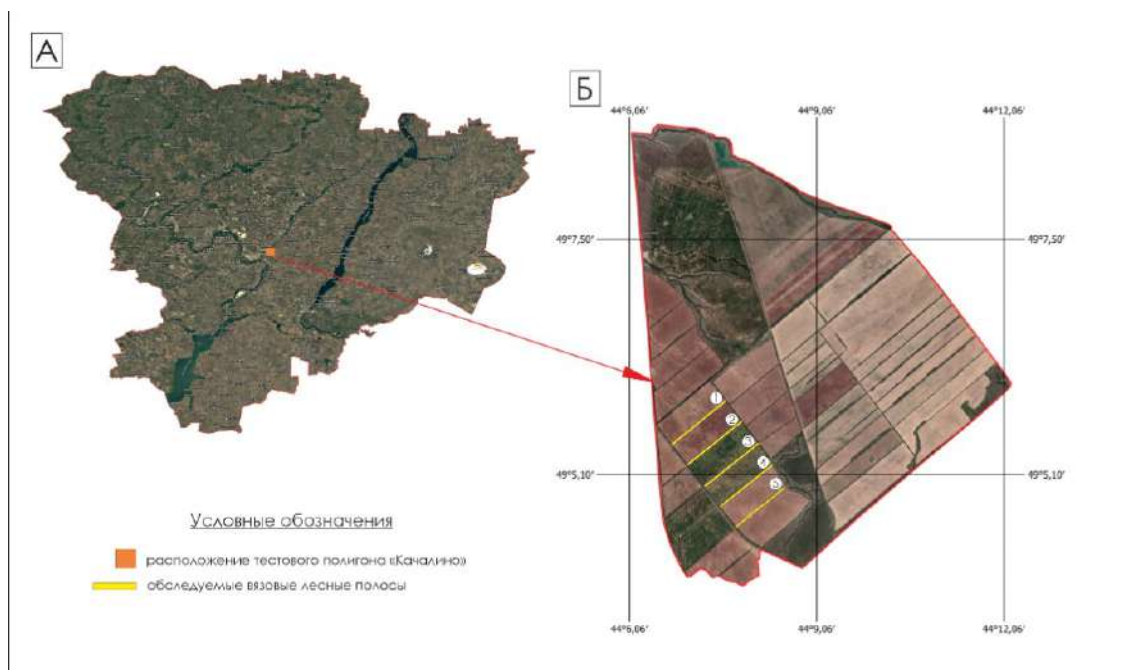


Рисунок 1 – Объект проведения исследований тестовый полигон «Качалино»
Figure 1 – The object of research is the test site “Kachalino”

К определяющим параметрам величины фитомассы относятся традиционные таксационные (морфометрические) параметры древостоя, такие как возраст, высота древостоя, диаметр стволов. Методом сплошной перечислительной таксации было проведено обследование территорий с закладкой 15 пробных площадей (25 м на ширину лесной полосы) и определением необходимых таксационных параметров. На основании полученных полевых данных либо архивных данных, в случае когда полевые работы не проводились, в эколого-биологических исследованиях применяется общепринятый метод оценки фитомассы насаждений с применением аллометрических моделей [12]. В работе используется аллометрическая модель Усольцева, разработанная для древесных и кустарниковых видов, в качестве регрессоров выступают высота дерева и диаметр ствола, константы приведены в таблице 1. Модель рассматривает запас фитомассы по фракционному составу (1).

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln DHB \quad (1)$$

где P – фитомасса по фракциям*, кг; H – высота дерева, м; DHB – диаметр ствола на высоте 1,3 м (см).
* фитомасса древесного яруса рассматривается по фракционному составу (Pst – ствол с корой; Pbr – скелет ветвей; Pf – фотосинтезирующие органы, хвоя, листья).

Таблица 1 – Константы уравнений для расчета запаса фитомассы [12]
Table 1 – Equation constants for phytomass stock calculation [12]

фракция фитомассы / phytomass fraction	a_0	a_1	a_2
Pst	-3.5919	1.1437	1.6275
Pbr	-4.9291	-0.4181	2.8385
Pf	-4.1273	-0.7283	2.6522

Статистическая обработка результатов полевых исследований проводилась методом корреляционно-регрессионного анализа с применением программного пакета Microsoft Office.

Результаты и обсуждения. В результате проведения полевых работ проведено обследование 12 га вязовых лесных полос. В вертикальной структуре выделяются ярусы древостоя, подрост, подлеска и травянистый ярус (рисунок 2). По схеме смешения насаждения характеризуются как четырехрядные древесно-кустарниковые лесные полосы ажурной-продуваемой конструкции, в которых 2 ряда в середине представлены древостоем, по бокам кустарник. Средняя ширина междурядий 1,8 м. Относительная полнота 0,4.

Древостой представлен вязом приземистым (*Ulmus pumila* L.). Состав насаждений – 10В. Морфометрические характеристики представлены в таблице 2. Так, вязовые лесные полосы в возрасте 38 лет имеют среднюю высоту $10 \pm 1,1$ м и средний диаметр $14,6 \pm 3,5$ см. Данному возрастному периоду соответствует III класс бонитета. Как правило, в однородных насаждениях наблюдается зависимость высоты деревьев от их диаметров. С увеличением диаметра у большинства деревьев соответственно увеличивается и высота [13, 14]. В данном случае отмечается прямолинейный характер зависимостей высоты и диаметра древостоя, что может свидетельствовать о наличии слабой конкуренции между деревьями. Значения коэффициентов рассчитанных уравнений значимы на 5 %-м уровне. Теснота связи (r) высоты древостоя от диаметра составляет 0,714. Значение коэффициента детерминации (r^2) в данном случае имеет значение 0,5106 что свидетельствует о приемлемом качестве разработанной модели (рис.3). Подрост вяза жизнеспособный. Отмечается процесс перехода единичных экземпляров подроста в ярус древостоя, что обусловливается сложившимися почвенно-климатическими условиями территории исследования.

Кустарниковый ярус по бокам лесной полосы сформирован смородиной золотистой (*Ribes aureum* L.). Единично встречается шиповник собачий (*Rosa canina* L.), боярышник однопестичный (*Crataegus monogyna* L.). Средняя высота кустарников $1,7 \pm 0,4$ м.

Живой напочвенный покров формирует: ковыль перистый (*Stipa pennata* L.), шалфей эфиопский (*Salvia aethiopis* L.), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* L.), латук татарский (*Lactuca tatarica* L.), костер кровельный (*Anisantha tectorum* L.), полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), василек раскидистый (*Centaurea diffusa* L.), молочай острый (*Euphorbia esula* L.), синеголовник полевой (*Eryngium campestre* L.), живокость полевая (*Delphinium consolida* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.).



Рисунок 2 – Общий вид вязовых лесных полос
Figure 2 – General view of elm forest belts

Таблица 2 – Морфометрические параметры модельных деревьев по лесным полосам.
Table 2 – Morphometric parameters of model trees along forest strips.

№ ЛП / № FB	A, лет / A, years	H, м / H, m	D _{1.3} , см / D _{1.3} , cm	D _{кроны} , м / D _{сrown} , m	S _{поперечного сечения} , см / S _{cross section} , cm	V _{дерева} , м ³ / V _{tree} , m ³
I	38	8,7	10,6	5,4	88,25	0,0768
II	38	9,2	18,7	6,8	274,65	0,2527
III	38	11,1	11,3	6,1	100,29	0,1113
IV	38	11,5	15,4	5,6	186,26	0,2142
V	38	9	16,8	5,1	221,68	0,1994

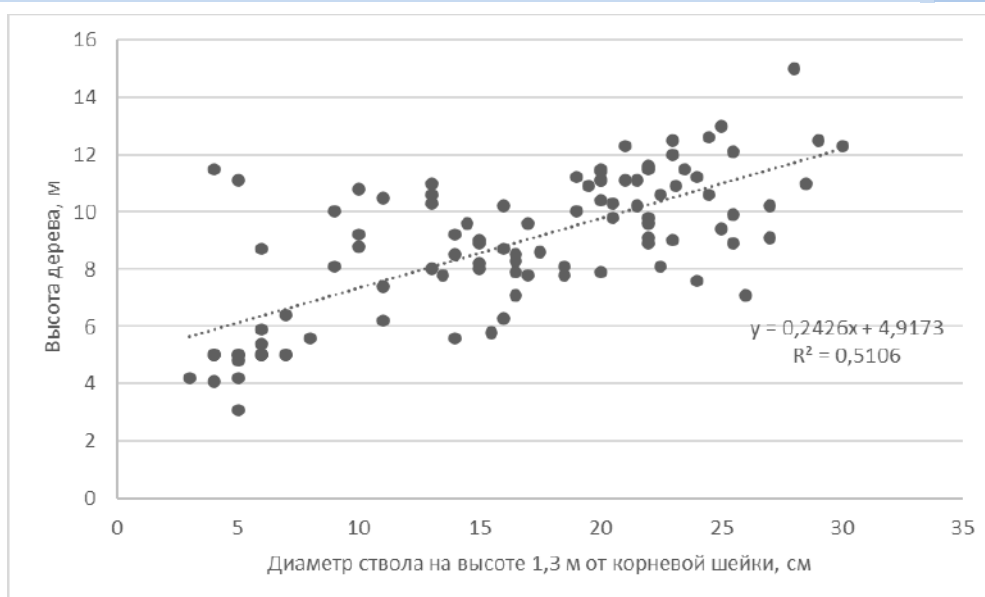


Рисунок 3 – Соотношение между диаметрами и высотами деревьев вяза приземистого
Figure 3 – Relationship between diameters and heights of squat elm trees

Густота составляет 1266 шт./га. В лесных полосах отмечено наличие сухостойных и суховершинных деревьев, также у ряда деревьев наблюдается усыхание отдельных крупных ветвей. Во всех полосах присутствуют КДО (крупные древесные остатки).

Как было сказано, основными факторами, определяющими запас фитомассы наземной части, являются высота и диаметр древостоя. Расчет запасов фитомассы древостоя осуществляется по фракциям (ствол с корой, скелет ветвей, фотосинтезирующие органы). Так, используя аллометрическую модель Усольцева (формула 1), соответствующие константы для каждой фракции (таблица 1), а также данные полевого обследования расчетным образом получили следующее значение фитомассы (ствол с корой) для модельного дерева лесной полосы № 1.

$$\ln P_{st} = -3.5919 + 1.1437 \ln 8,7 + 1.6275 \ln 10,6 = -3.59191 + 1.1437 * 2.163 + 1.6275 * 2.361$$

Путем вычисления антилогарифма из полученного значения было установлено, что запас фитомассы ствола с корой для модельного дерева лесной полосы № 1 составил 15,18 кг. Аналогичным образом произведен расчет фитомассы по фракциям для модельных деревьев вяза для лесных полос №I-V (таблица 3).

Таблица 3 – Фракционный состав фитомассы модельных деревьев вяза в I-V лесных полосах, кг
Table 3 – Fractional composition of phytomass of model elm trees in I-V forest strips, kg

№ ЛП / № FB	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>
I	15,18	2,39	1,75
II	40,85	11,7	7,61
III	22,35	2,58	1,75
IV	38,54	6,12	3,84
V	33,54	8,68	5,79

При густоте древостоя 1266 шт/га запас органического вещества фитомассы варьирует в довольно широких пределах от 24,5 до 76,2 т/га. Размах в значениях запаса фитомассы обуславливается соответствующими значениями высоты и диаметра древостоя. Наиболее высокие показатели фитомассы отмечаются в лесной полосе № II, средний же запас фитомассы по всем исследуемым полосам составляет 40,5 т/га (при густоте 1266 шт.).

Стоит отметить, что согласно схеме посадки на тестовом полигоне предполагалось при ширине лесной полосы в 15 м установить расстояние между посадочными местами в рядах для быстрорастущих пород в 1,5 м т.е. плановое количество древостоя должно было

составить 1066 шт./га. Планировалось, что при таких схемах посадки лесных полос исчезнет явление «опушечного эффекта», разрастанию корней деревьев в стороны полей будут препятствовать кустарники и создадутся условия для беспрепятственной обработки почвы длительного времени. Впоследствии в процессе онтогенеза древостоя к настоящему моменту густота увеличилась, что объясняется процессами перехода некоторых экземпляров подроста в ярус древостоя, но также отмечаются обратные процессы по сокращению единиц древостоя, спровоцированные процессами отмирания и усыхания растений.

Основной фракцией, в которой сосредоточено наибольшее количество органического вещества фитомассы, является фракция ствола с корой – 74 %, (рисунок 4) также в нашем случае 16 % отводится под скелет ветвей и 10 % на фотосинтезирующие органы древесных растений. В работе не учитывался запас органического вещества в корневой массе, но по данным других работ на долю корней у древесных приходится порядка 20 %. У листопадных видов деревьев фитомасса фотосинтезирующих органов является также годичным приростом [15, 16, 17].

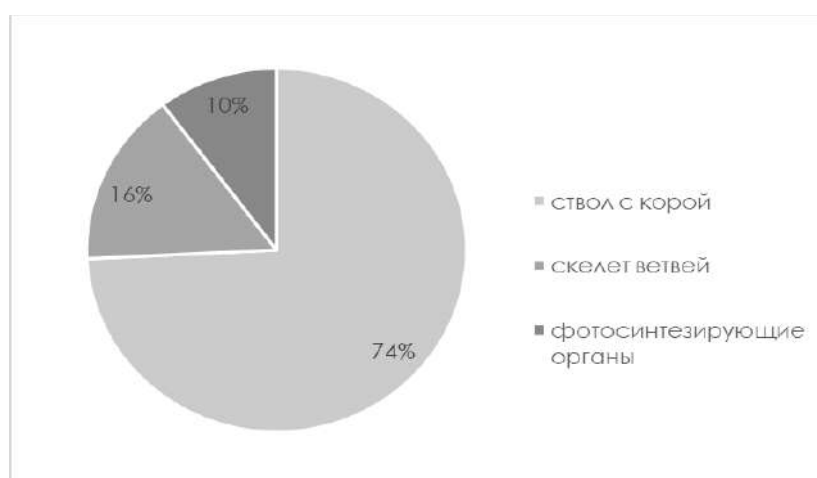


Рисунок 4 – Процентное распределение фитомассы вяза по фракциям
Figure 4 – Percentage distribution of elm phytomass by fractions

Значения фитомассы в настоящей работе, полученные методом аллометрических уравнений, позволяют провести сравнение результатов с содержащимися в литературе сведениям по запасу органического вещества в фитомассе древостоя вязовников. Так, например, в работе [18] запасы фитомассы вяза в сухой степи Ростовской области в возрасте 35 лет составили 35,5 т/га. В искусственных лесных насаждениях предгорий Карачаево-Черкесской республики запас органического вещества в фитомассе вяза 56,7 т/га [19]. По данным [20] в сухостепной зоне в сомкнутом пятилетнем древостое высотой около 5,5 м и диаметром стволов 10 см была весьма высокой и составила 28,3 т/га.

Заключение. В возрасте 38 лет вязовые полевозащитные лесные полосы имеют среднюю высоту $10 \pm 1,1$ м, средний диаметр ствола $14,6 \pm 3,5$ см, средний диаметр кроны $5,8 \pm 0,7$ м. В насаждениях наблюдается естественные процессы изреживания древостоя, которые обуславливаются биологическими особенностями древесных пород. Также отмечено образование обильного подроста, некоторая часть которого перешла в ярус древостоя. По итогу проведения полевых и камеральных работ определен запас органического вещества в фракциях фитомассы (ствол с корой, скелет ветвей, фотосинтезирующие органы) вязовых лесных полос в сухостепной зоне каштановых почв. Общая площадь исследуемых насаждений составила 12 га. Средний запас фитомассы вяза составил 40,5 т/га. Наибольшее значение в фракционной структуре фитомассы отводится стволу с корой по лесным полосам, на эту долю приходится от 68 до 84 %. Общий запас фитомассы в обследуемых полевозащитных лесных полосах составил 486 т, из которых 359 т – ствол с корой, 77 т – скелет ветвей, 50 т – фотосинтезирующие органы.

Conclusions. At the age of 38 years, elm field-protective forest strips have an average height of 10 ± 1.1 m, average trunk diameter of 14.6 ± 3.5 cm, average crown diameter of 5.8 ± 0.7 m. Natural processes of stand thinning are observed in the stands, which are conditioned by biological peculiarities of tree species. The formation of abundant undergrowth, some part of which moved to the stand tier, was also observed. According to the results of field and cameral works the organic matter stock in

phytomass fractions (trunk with bark, branch skeleton, photosynthetic organs) of elm forest strips in the dry-steppe zone of chestnut soils was determined. The total area of the studied plantations amounted to 12 ha. The average stock of elm phytomass was 40.5 t/ha. The greatest importance in the fractional structure of phytomass is given to the trunk with bark on forest strips this share is from 68 to 84 %. The total stock of phytomass in the surveyed field protective forest strips amounted to 486 t, of which 359 t – trunk with bark, 77 t – skeleton of branches, 50 t – photosynthetic organs.

Библиографический список

1. Кулик К. Н., Рулев А. С., Ткаченко Н. А. Изменение климата и агролесомелиорация. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 58-67.
2. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачёва А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов. Аридные экосистемы. 2023. № 1 (94). С. 4-14.
3. Potashkina Yu. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. Forests. 2022. № 13 (11). P. 1892.
4. Замолодчиков Д. Г., Каганов В. В., Липка О. Н. Потенциальное поглощение углерода фитомассой древостоя при восстановлении тугайных лесов. Лесоведение. 2020. № 2. С. 115-126.
5. Каганов В. В., Замолодчиков Д. Г., Мостовая А. С. Влияние климата на запасы углерода фитомассы и подстилки в лесных насаждениях Юга Европейской России. Лесоведение. 2023. № 5. С. 486-501.
6. Кулик К. Н. и др. Стратегия развития защитного лесоразведения в Волгоградской области на период до 2035 года. Волгоград, 2023. 40 с.
7. Крючков С. Н. и др. Научно-методические указания по сортовому семеноводству деревьев и кустарников для лесомелиорации аридных территорий (научно-методические рекомендации). Волгоград, 2022. 52 с.
8. Беляев А. И. и др. Создание долговечных полевых защитных лесных полос на юге Западной Сибири (методические рекомендации). Волгоград, 2022. 36 с.
9. Сурхаев Г. А., Сурхаева Г. М. Эколого-биологические аспекты формирования пастбищезащитных насаждений вяза в фитомелиорации Западного Прикаспия. Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 44-49.
10. Данилин И. М., Цогт З. Морфометрические параметры и фитомасса деревьев лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. в Восточном Хэнтэе (Северная Монголия). Сибирский лесной журнал. 2015. № 5. С. 96-104.
11. Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю. И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России. Лесная таксация и лесоустройство. 2004. № 1. С. 40-44.
12. Усольцев В. А., Часовских В. П., Норицина Ю. В., Норичин Д. В. Аллометрические модели фитомассы деревьев для лазерного зондирования и наземной таксации углеродного пула в лесах Евразии: сравнительный анализ. Сибирский лесной журнал. 2016. № 4. С. 68-76.
13. Соловьева О. Е., Вайс А. А. Соотношение высот и диаметров деревьев в сосновых древостоях Восточного Саяна. Хвойные бореальной зоны. 2019. № 3-4. С. 242-249.
14. Нуриев Д. Н. Взаимосвязь высоты и диаметра озеленительных посадок березы повислой в условиях г. Екатеринбурга. Лесное хозяйство: материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. 2022. С. 201-203.
15. Каплина Н. Ф., Кулакова Н. Ю. Фитомасса и запасы углерода и азота в контрастных по продуктивности нагорных дубравах южной лесостепи. Аридные экосистемы. 2021. № 1 (86). С. 35-42.
16. Осипов А. Ф., Кутявин И. Н., Манов А. В., Кузнецов М. А., Бобкова К. С. Запасы и структура фитомассы древостоев северотаежных сосняков Республики Коми. Известия высших учебных заведений: Лесной журнал. 2022. № 4. С. 25-38.
17. Тарасов С. И., Пристова Т. А., Бобкова К. С. Динамика фитомассы древостоя лиственнично-хвойного фитоценоза средней тайги республики Коми. Сибирский лесной журнал. 2018. № 1. С. 50-58.
18. Танюкевич В. В., Ивонин В. М. Фитонасыщенность полевых защитных лесных полос как фактор их мелиоративного влияния. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 2 (14). С. 25-41.
19. Кулакова Е. Н., Чернодубов А. И., Манаенков А. С. Эколого-экономическая оценка искусственных лесных насаждений предгорий Карачаево-Черкесской республики. Лесотехнический журнал. 2016. № 4. С. 13-21.
20. Абатуров Б. Д. Сравнительная продуктивность лесных и травяных экосистем. Вестник Российской академии наук. 2023. № 2 (93). С. 162-170.

References

1. Kulik K. N., Rulov A. S., Tkachenko N. A. Climate Change and Agroforestry. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2017. № 2 (46). Pp. 58-67.
2. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. Role of Protective Afforestation in the Fight against Drought and Desertification of Agrolandscapes. Arid ecosystems. 2023. № 1 (94). Pp. 4-14.
3. Potashkina Yu. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. Forests. 2022. № 13 (11). P. 1892.
4. Zamolodchikov D. G., Kaganov V. V., Lipka O. N. Potential Carbon Uptake by the Phytomass of the Stand in the Restoration of Tugai Forests. Dendrology. 2020. № 2. Pp. 115-126.
5. Kaganov V. V., Zamolodchikov D. G., Mostovaya A. S. Climate Influence on Phytomass and Litter Carbon Stocks in Forest Plantations of the South of European Russia. Dendrology. 2023. № 5. Pp. 486-501.
6. Kulik K. N. et al. Strategy for the Development of Protective Afforestation in the Volgograd Region for the Period up to 2035. Volgograd, 2023. 40 p.
7. Kryuchkov S. N. et al. Scientific and Methodological Guidelines for Varietal Seed Production of Trees and Shrubs for Forest Reclamation of Arid Territories (Scientific and Methodological Recommendations). Volgograd, 2022. 52 p.
8. Belyaev A. I. et al. Creation of long-term protective forest belts in the south of Western Siberia (guidelines). Volgograd, 2022. 36 p.

9. Surkhaev G. A., Surkhaeva G. M. Ecological and biological aspects of the formation of elm pasture plantations in the phytomelioration of the Western Caspian region. *Scientific and Agronomic Journal*. 2022. № 4 (119). Pp. 44-49.
10. Danilin I. M., Tsogt Z. Morphometric parameters and phytomass of Siberian larch trees *Larix sibirica* Ledeb. in East Khentei (Northern Mongolia). *Siberian Forest Journal*. 2015. № 5. Pp. 96-104.
11. Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Nilsson S., Bului Y. I. System of Models of Growth and Dynamics of Forest Productivity in Russia. *Forest Inventory and Forest Management*. 2004. № 1. Pp. 40-44.
12. Usoltsev V. A., Chasovskikh V. P., Noritsina Y. V., Noritsin D. V. Allometric Models of Tree Phytomass for Laser Sensing and Terrestrial Carbon Pool Inventory in Eurasian Forests: A Comparative Analysis. *Siberian Forest Journal*. 2016. № 4. Pp. 68-76.
13. Solovyova O. E., Weiss A. A. Ratio of Heights and Diameters of Trees in Pine Stands of the Eastern Sayan. Coniferous boreal zone. 2019. № 3-4. Pp. 242-249.
14. Nuriev D. N. Relationship between the height and diameter of green plantings of hanging birch in the conditions of Yekaterinburg. *Forestry: Materials of the 86th Scientific and Technical Conference of Academic Staff, Researchers and Graduate Students*. 2022. Pp. 201-203.
15. Kaplina N. F., Kulakova N. Y. Phytomass and Carbon and Nitrogen Reserves in Upland Oak Forests of the Southern Forest-Steppe with Contrasting Productivity. *Arid ecosystems*. 2021. № 1 (86). Pp. 35-42.
16. Osipov A. F., Kutyavin I. N., Manov A. V., Kuznetsov M. A., Bobkova K. S. Reserves and Structure of Phytomass of Forest Stands of Northern Taiga Pine Forests of the Komi Republic. *Proceedings of Higher Educational Institutions: Forest Journal*. 2022. № 4. Pp. 25-38.
17. Tarasov S. I., Pristova T. A., Bobkova K. S. Phytomass dynamics of deciduous-coniferous phytocenosis of the middle taiga of the Komi Republic. *Siberian Forest Journal*. 2018. № 1. Pp. 50-58.
18. Tanyukevich V. V., Ivonin V. M. Phytosaturation of Field-Protective Forest Belts as a Factor of Their Reclamation Influence. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2014. № 2 (14). Pp. 25-41.
19. Kulakova E. N., Chernodubov A. I., Manaenkov A. S. Ecological and Economic Assessment of Artificial Forest Plantations in the Foothills of the Karachay-Cherkess Republic. *Forestry Journal*. 2016. № 4. Pp. 13-21.
20. Abaturov B. D. Comparative Productivity of Forest and Grass Ecosystems. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2023. № 2 (93). Pp. 162-170.

Информация об авторах

Поташкина Юстина Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), аспирант ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», ORCID: 0000-0001-8846-2354, e-mail: potashkina-y@vifanc.ru

Author's Information

Potashkina Yustina Nikolaevna, Junior Research Associate, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, University Ave., 97), graduate student, Volgograd State University. ORCID: 0000-0001-8846-2354, e-mail: potashkina-y@vifanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-23

THE MATHEMATICAL MODELING OF THE TOMATO YIELD FORECASTING IN THE ARID ZONE¹Rogachev M. V., ¹Bisaliyev A. A., ^{1,2}Pleskachev Yu. N., ²Voronov S. I.¹*Astrakhan State University named after V. N. Tatishcheva
Astrakhan, Russian Federation*²*Federal Research Center "Nemchinovka"
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bisaliyev98@gmail.com

Received 20.04.2025

Submitted 21.05.2025

Abstract

Introduction. The relevance of the research is determined by the need to forecast the yield of tomatoes in areas of unstable moisture. The Astrakhan region belongs to the arid zone, very often in the region there is a partial or complete lack of precipitation during the spring-summer vegetation of agricultural crops. Therefore, it is possible to effectively develop the crop industry here only under irrigation. At the same time, the Astrakhan region is a leader in the Southern Federal District in the production of vegetables and potatoes, annually producing more than 1.5 million tons. Among vegetable crops, open-ground tomatoes are in first place in terms of sown areas. The region grows domestic and foreign varieties of the studied crop. However, uncontrolled growth of sown areas occupied by tomatoes can lead to negative consequences associated with the degradation of soil fertility in the arid zone. In the Astrakhan region, only 1/3 of arable land is currently used. The monoculture of potatoes and tomatoes predominates as the most profitable areas of production. The areas under grain, leguminous crops and perennial forage grasses are significantly reduced. The practical absence of medium and long-rotation crop rotations based on alfalfa leads to the manifestation of trends in the negative humus balance. In this regard, research is needed to assess the current state of the tomato industry in the region and determine the prospects for its development. **Materials and methods.** The study used methods of system and complex analysis, as well as methods of economic and mathematical modeling. **The research results** showed that the equations characterizing changes in the area of

tomato plantings, its yield and gross harvest have positive trend lines. However, the increase in the area under tomato plantings occupied in the period from 2014 to 2023. tomatoes, by 2.5 times, yield by 1.4 times indicates an extensive method of farming and increased degradation processes in irrigated arable land. In this regard, in order to prevent a decrease in soil fertility in the region, it is necessary to work on creating high-yielding varieties of the studied crop adapted to the dry conditions of the arid zone and increase tomato production intensively by increasing its yield, and not by increasing the planting area.

Keywords: *tomato, irrigated crop rotations, domestic tomato varieties, tomato yield, yield forecasting.*

Citation. Rogachev M. V., Bisaliev A. A., Pleskachev Yu. N., Voronov S. I. The mathematical modeling of the tomato yield forecasting in the arid zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 212-219 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-23.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, implementation and analysis of this study. The authors of this article have read and approved the presented final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.086.416(083)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ТОМАТА В АРИДНОЙ ЗОНЕ

¹Рогачев М. В., аспирант

¹Бисалиев А. А., аспирант

^{1,2}Плескачев Ю. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Воронов С. И., доктор биологических наук, профессор

¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева
г. Астрахань, Российская Федерация

²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность исследований определяется необходимостью прогнозирования урожайности томата в зонах неустойчивого увлажнения. Астраханская область относится к аридной зоне, очень часто в регионе наблюдается частичное или полное отсутствие осадков в период весенне-летней вегетации сельскохозяйственных культур. Поэтому эффективно развивать растениеводческую отрасль здесь можно только в условиях орошения. Вместе с тем Астраханская область лидирует в ЮФО по производству овощной продукции и картофеля, ежегодно производя более 1,5 млн т. Из овощных культур на первом месте по посевным площадям находятся томаты открытого грунта. Регион выращивает отечественные и зарубежные сорта изучаемой культуры. Однако неконтролируемый рост посевных площадей, занятых под томатами, может привести к негативным последствиям, связанным с деградацией почвенного плодородия в аридной зоне. В Астраханской области в настоящее время используется всего 1/3 часть пахотных земель, преобладает монокультура картофеля и томата как наиболее рентабельных направлений производства. Посевные площади зерновых, зернобобовых культур и многолетних кормовых трав значительно снижены. Практическое отсутствие средне и длинно-ротационных севооборотов на основе люцерны ведет к проявлению тенденций отрицательного баланса гумуса. В связи с этим необходимы исследования, направленные на оценку современного состояния томатной отрасли в регионе и определения перспектив ее развития.

Материалы и методы. В исследовании использовались методы системного и комплексного анализа, а также методы экономико-математического моделирования.

Результаты исследований показали, что уравнения, характеризующие изменения площадей посадок томата, его урожайности и валовых сборов имеют положительные линии тренда. Однако увеличение посевных площадей, занятых в период с 2014 по 2023 гг. томатами, в 2,5 раза, урожайности в 1,4 раза свидетельствует об экстенсивном способе хозяйствования и усилении деградиционных процессов на орошаемой пашне. В связи с этим с целью предотвращения снижения почвенного плодородия в регионе необходимо вести работу по созданию высокоурожайных сортов изучаемой культуры, адаптированных к засушливым условиям аридной зоны, и увеличивать производство томата интенсивным путем за счет роста его урожайности, а не за счет увеличения площади посадок.

Ключевые слова: *томат, орошаемые севообороты, отечественные сорта томата, урожайность томата, прогнозирование урожайности.*

Цитирование. Рогачев М. В., Бисалиев А. А., Плескачев Ю. Н., Воронов С. И. Математическое моделирование прогнозирования урожайности томата в аридной зоне. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 212-219. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-23.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Томат для россиян является одним из значимых продуктов ежедневного рациона [1]. В настоящее время в Астраханской области площади, занятые под томатом, ежегодно увеличиваются, валовое производство изучаемой культуры составляет свыше 750 тыс. т. В то же время значительное расширение посадок томата в структуре севооборотов привело к накоплению специфических болезней и вредителей во многих почвенно-климатических зонах региона [2]. Данные процессы протекают на фоне деградации почвенного плодородия в аридной зоне [3]. Вместе с тем сегодня в Астраханской области главным лимитирующим урожай фактором продолжает оставаться влага. Выведение новых отечественных сортов томата и разработка для них инновационных технологий выращивания являются главными условиями дальнейшего роста объемов производства изучаемой культуры [4, 5, 6, 7].

В свою очередь, инновационные технологии предусматривают размещение томата после лучших предшественников (многолетние травы, бахчевые, зерновые и бобовые культуры), оптимизацию минерального питания растений, широкое использование биопрепаратов [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Основная задача при этом сводится к освоению интенсивного способа хозяйствования, когда увеличение валовых сборов изучаемой культуры происходит не за счет расширения посевных площадей, а за счет роста урожайности во всех без исключения категориях хозяйств.

Методы. Цель исследований сводилась к оценке современного состояния и прогнозированию развития томатной отрасли в аридной зоне. Постановка цели обусловила решение следующих задач:

1. Определить трендовую модель изменения посевных площадей томата в Астраханской области.

2. Определить трендовую модель изменения урожайности изучаемой культуры.

3. Определить трендовую модель изменения валовых сборов томата в регионе.

Исследование отличалось системным подходом, направленным на комплексное изучение поставленных задач. В исследовании нашли широкое применение фундаментальные положения теории систем и экономико-математического моделирования, которые позволили определить современные тренды развития томатной отрасли в Астраханской области.

Результаты исследований. С 2018 по 2023 гг. в регионе доля хозяйств различных категорий, специализирующихся на выращивании изучаемой культуры, распределилась следующим образом: 38 % от всей площади, занятой под томатами, приходилось на сельскохозяйственные организации, 44 % – на крестьянско-фермерские хозяйства и 18% – на личные подсобные хозяйства (рисунок 1).



Рисунок 1 – Посевные площади, занятые под томатами, в хозяйствах всех категорий, тысяч га
Figure 1 – Cultivation areas under tomatoes in farms of all categories, thousand hectares

В рассматриваемый период, 49 % от всего объема выращенных в регионе томатов, было произведено в сельскохозяйственных организациях, 41 % в КФХ и только 10 % в ЛПХ (рисунок 2).



Рисунок 2 – Производство томатов по категориям хозяйств, тысяч тонн
Figure 2 – Tomato production by farm categories, thousand tons

Этот факт свидетельствует о том, что максимальные уровни урожайности томата получают сельскохозяйственные организации. Большинство хозяйств региона используют в основном импортные семена изучаемой культуры. В то же время в регионе успешно функционирует Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства и бахчеводства, обладающий уникальной коллекцией отечественных сортов томата.

В настоящее время на региональном рынке наиболее известными салатными сортами изучаемой культуры являются Бычье сердце, Король Лондона, Оранжевый гигант, Буденовка, что составляет 30 % от общего количества.

Потребительские предпочтения в отношении салатных сортов томата распределяются следующим образом: Бычье сердце – 58,9 %, Хурма – 7,3 %, Буденовка – 6,3 %, Гигантелла – 6,3 %, Москвич – 4,2 %, Малиновый гигант – 4,2 %, Король Лондона – 3,1 %, Микадо – 3,1 %, Восторженный – 2,1 %, Сахарный – 2,1 %, Оранжевый гигант – 2,1 % [1]. Большинство астраханцев предпочтение отдает местным сортам изучаемой культуры, которые по вкусовым качествам намного превосходят импортные аналоги.

Вместе с тем в настоящее время оперативного решения требует проблема, связанная с дальнейшей интенсификацией производства томатов в регионе. Более детальное рассмотрение сложившейся ситуации возможно при использовании методов экономико-математического моделирования.

Экономико-математические трендовые модели на основе полиномиальных кривых роста представлены в таблицах 1-4. В исследованиях рассматривался 10-летний период с 2014 по 2023 гг.

Таблица 1 – Расчет промежуточных показателей для оценки параметров регрессии
(Посевная площадь под томатами в Астраханской области во всех категориях хозяйств в период с 2014 по 2023 гг., тыс. га)

Table 1 – Calculation of intermediate indicators for assessing regression parameters
(Area under tomatoes in the Astrakhan region in all categories of farms in the period from 2014 to 2023, thousand hectares)

Год / Year	Посевная площадь, га / Sown area, ha	t-tcp	(t-tcp) ²	Yt-Ytcp	(t-tcp)х(Yt-Ytcp)
1 (2014)	4,7	-4,5	20,25	-3,3	14,9
2(2015)	3,8	-3,5	12,25	-4,2	14,7
3(2016)	5,7	-2,5	6,25	-2,3	5,8
4(2017)	7,2	-1,5	2,25	-0,8	1,2
5(2018)	7,9	-0,5	0,25	-0,1	0,05
6(2019)	9,3	0,5	0,25	1,3	0,7
7(2020)	9,5	1,5	2,25	1,5	2,3
8(2021)	9,7	2,5	6,25	1,7	4,3
9(2022)	10	3,5	12,25	2,0	7,0
10(2023)	12,1	4,5	20,25	4,1	18,5
	79,9		82,5		69,5
	7,99				

В течение рассматриваемого периода в Астраханской области площади посадок томата увеличились более чем в 2,5 раза с 4,7 тыс. га (2014 г.) до 12,1 тыс. га (2023 г.)

Расчет промежуточных показателей для оценки параметров регрессии при детальном изучении посевных площадей, занятых под томатами показал, что: $a_1=69,5/82,5=0,8$, $a_0=7,99 - 0,8 \times 5,5 = 3,6$. Уравнение тренда имеет вид: $Y_t=3,6 + 0,8t$

В 2024 году наблюдалось возращение площадей, занятых томатами на 2,5 % по сравнению с 2023 годом. Это связано с расширением посадок изучаемой культуры в ООО «АПК Астраханский», что обусловлено освоением ими новых массивов орошаемой пашни в Красноярском районе Астраханской области.

Вместе с тем в каждом хозяйстве в зависимости от почвенно-климатических условий должны быть районированы сорта томата, в наибольшей степени адаптированные к засушливым условиям произрастания.

Если такие сорта будут созданы в регионе, то в ближайшей перспективе Астраханская область может значительно повысить урожайность и валовые сборы изучаемой культуры.

В настоящее время продуктивность томатов в регионе превышает 60 т/га (таблица 2).

Таблица 2 – Расчет промежуточных показателей для оценки параметров регрессии
(урожайность томата, т/га)

Table 2 – Calculation of intermediate indicators for assessing regression parameters (tomato yield, t/ha)

Год / Year	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	t-tcp	(t-tcp) ²	Yt-Ytcp	(t-tcp)x(Yt-Ytcp)
1 (2014)	45,5	-4,5	20,25	-9,4	42,3
2(2015)	48,4	-3,5	12,25	-6,5	22,8
3(2016)	48,3	-2,5	6,25	-6,6	16,5
4(2017)	47,6	-1,5	2,25	-7,3	11,0
5(2018)	55	-0,5	0,25	0,1	-0,05
6(2019)	59,7	0,5	0,25	4,8	2,4
7(2020)	59,5	1,5	2,25	4,6	6,9
8(2021)	58,4	2,5	6,25	3,5	8,8
9(2022)	63,4	3,5	12,25	8,5	29,8
10(2023)	63,5	4,5	20,25	8,6	38,7
	549,3		82,5		179,2
	54,9				

Детальный анализ динамики урожайности томата в хозяйствах всех категорий в Астраханской области продемонстрировал ее рост за 10 летний период в 1,4 раза по сравнению с началом периода. Данные статической отчетности свидетельствуют о том, что наибольшие уровни продуктивности изучаемой культуры формируются в сельхозорганизациях, что во многом объясняется их сильной материально-технической базой.

Таблица 3 – Расчет промежуточных показателей для оценки параметров регрессии
(валовый сбор томата в Астраханской области, тыс. т)

Table 3 – Calculation of intermediate indicators for assessing regression parameters
(gross tomato harvest in the Astrakhan region, thousand tons)

Год / Year	Валовый сбор, тыс. т / Gross harvest, kt	t-tcp	(t-tcp) ²	Yt-Ytcp	(t-tcp)x(Yt-Ytcp)
1 (2014)	214	-4,5	20,25	-239,9	1079,6
2(2015)	184	-3,5	12,25	-269,9	944,7
3(2016)	275	-2,5	6,25	-178,9	447,3
4(2017)	343	-1,5	2,25	-110,9	166,4
5(2018)	435	-0,5	0,25	-18,9	9,5
6(2019)	555	0,5	0,25	101,1	50,6
7(2020)	565	1,5	2,25	111,1	166,7
8(2021)	566	2,5	6,25	112,1	280,3
9(2022)	634	3,5	12,25	180,1	630,4
10(2023)	768	4,5	20,25	314,1	1413,5
	4539		82,5		5189
	453,9				

Расчет промежуточных показателей для оценки параметров регрессии при детальном изучении урожайности томата, показал, что: $a_1=179,2/82,5=2,2$, $a_0=54,9 - 2,2 \times 5,5 = 42,8$. Уравнение тренда имеет вид: $Y_t=42,8 + 2,2t$.

В течение 10-летнего периода в регионе наблюдается ежегодное увеличение валовых сборов томата, за исключением 2015 года. За 10 лет объем производства изучаемой культуры в Астраханской области возрос более чем в 3,5 раза.

Расчет промежуточных показателей для оценки параметров регрессии при детальном изучении валовых сборов томата, показал, что: $a_1=5189/82,5=62,9$, $a_0=453,9 - 62,9 \times 5,5 = 108$. Уравнение тренда имеет вид: $Y_t=108 + 62,9 t$.

Расчет промежуточных показателей регрессии позволил составить уравнения тренда (таблица 4).

Таблица 4 – Уравнения тренда исследуемых показателей
Table 4 – Trend equations for the studied indicators

Экстраполируемый показатель / Extrapolated indicator	Уравнение тренда / Trend equation
Посадки томата, тыс. га / Tomato plantings, thousand hectares	$Y_t=3,6 + 0,8t$
Урожайность томата, т/га / Tomato yield, t/ha	$Y_t=42,8 + 2,2t$
Валовые сборы томата, тыс.т / Total tomato harvest, kt	$Y_t=108 + 62,9t$

Анализ таблицы 4 показал, что полученные уравнения площади посадок томата, его урожайности и валовых сборов имели положительные линии тренда, что свидетельствует о ежегодном возрастании изучаемых показателей. Однако темпы роста урожайности значительно меньше, чем темпы увеличения посевных площадей, занятых под изучаемой культурой, что подтверждает экстенсивное развитие отрасли.

Показателен опыт сельхозпредприятий в развитии томатной отрасли в регионе. Одним из передовых предприятий является ООО «АПК Астраханский» — крупнейший в России вертикально интегрированный производитель томатной пасты. Предприятие включает завод по переработке томатов и сельскохозяйственное подразделение по выращиванию изучаемой культуры в условиях открытого грунта. На предприятии реализован замкнутый цикл производства, предусматривающий: выращивание в закрытом грунте рассады томата, с последующим высаживанием ее в открытый грунт, уборку выращенного урожая, производство высококачественной томатной пасты, реализацию произведенной продукции.

С открытием в Астраханской области ООО «АПК Астраханский» площади томатов в регионе увеличились в 2,5 раза, занимая поля Харабалинского и Красноярского района. ООО «АПК Астраханский» осуществляет развитие томатной отрасли интенсивным путем и заслуживает самого пристального внимания всех остальных хозяйств, специализирующихся на производстве томата в Астраханской области. Комплекс располагает полями общей площадью более 5 000 га. Средняя урожайность томатов на предприятии составляет 60-80 т/га. ООО «АПК Астраханский» использует капельное орошение на всех площадях, что способствует максимально бережному выращиванию изучаемой культуры. Комплекс имеет собственные насосные станции, которые постоянно снабжают поля водой по трубам общей протяженностью более 130 км. А вырытые аванкамеры, общий объем которых более 50 000 м³, обеспечивают ее бесперебойную подачу. По окончании созревания рассады в теплицах, она переносится на поля и укладывается в почву при помощи рассадопосадочной машины итальянской компании «Ferrari».

Через капельную ленту на протяжении всего жизненного цикла растения вносятся, необходимые для здорового роста томата, удобрения и вода.

Выводы. В современных условиях в Астраханской области томатная отрасль развивается экстенсивным путем, валовые сборы изучаемой культуры увеличиваются за счет расширения площади посадок. Вместе с тем приход в регион крупных сельскохозяйственных предприятий, осваивающих замкнутый цикл производства и реализующих стратегию интегрированного роста, может изменить ситуацию в томатной отрасли в позитивную сторону и обеспечить устойчивое увеличение валовых сборов изучаемой культуры за счет возрастания урожайности, а не за счет расширения площади посадок томата.

Conclusions. In the current conditions in the Astrakhan region, the tomato industry is developing extensively, the gross yields of the studied crop are increasing due to the expansion of the planting area. At the same time, the arrival of large agricultural enterprises in the region, mastering the

closed production cycle and implementing the integrated growth strategy, can change the situation in the tomato industry for the better and ensure a sustainable increase in the gross yields of the studied crop due to an increase in productivity, and not due to the expansion of the tomato planting area.

Библиографический список

1. Ахмедова П. М. Урожайность и товарность плодов томата разных групп спелости в условиях Дагестана. Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2022. Т. 14. № 4. С. 262-264.
2. Енгальчев М. Р., Джос Е. А., Матюкина А. А., Верба О. В., Демиденко Е. В., Соснов В. С., Рубцов А. А. Селекция томата для открытого грунта юга России. Овощи России. 2024. № 2. С. 5-11.
3. Плескачев Ю. Н., Костин М. В. Деградация земель в Нижнем Поволжье. Полевые исследования. 2020. № 7. С. 124-133.
4. Максимов С. В., Беков Р. Х. Практические результаты сотрудничества в селекции томата. Картофель и овощи. 2022. С. 17-19.
5. Кигашпаева О. П., Авдеев А. Ю. Брендовые астраханские сорта томатов. Проблемы развития АПК региона. 2020. № 2 (42). С. 93-97.
6. Авдеев А. Ю., Кигашпаева О. П., Сисенгалиева С. Т. Сорта томатов селекции ВНИИООБ. Картофель и овощи. 2018. № 10. С. 33-35.
7. Гулин А. В. и др. Результаты и перспективы астраханской селекции овощных и бахчевых культур. Овощи России. 2021. № 5. С. 16-21.
8. Кузнецов Ю. В., Колотвин В. М. Производительность сортов томатов в зависимости от срока высадки рассады и пространственного размещения на площади. Молодой ученый. 2019. № 25 (263). С. 75-79. <https://moluch.ru/archive/263/60956/>
9. Анишко М. Ю., Вилкова Ж. А., Плескачев Ю. Н. Приёмы обработки светло-каштановых почв при возделывании томата. Современные направления в решении проблем АПК на основе инновационных технологий: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. С. 192-198.
10. Тютюма Н. В., Плескачев Ю. Н., Анишко М. Ю. Эффективность листовых подкормок томатов при возделывании в условиях Северного Прикаспия. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2021. № 1 (47). С. 3-6.
11. Анишко М. Ю., Плескачев Ю. Н., Максимова Н. С., Лебедева Л. В. Влияние приёмов основной обработки почвы на агрофизические показатели почвы и урожайность томата. Проблемы развития АПК региона. 2021. № 2 (46). С. 6-11.
12. Беленков А. И., Плескачев Ю. Н., Филин В. И., Абрашкина Е. Д. Фертигация томатов в открытом грунте УНПЦ "Горная поляна" Волгоградского ГАУ. Картофель и овощи. 2020. № 8. С. 15-18.
13. Плескачев Ю. Н., Лукьяненко Е. А. Повышение продуктивности овощных культур за счет правильного применения листовых подкормок. Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 5. С. 22-26.

References

1. Akhmedova P. M. Yield and marketability of tomato fruits of different ripeness groups in the conditions of Dagestan. Interdisciplinary scientific and applied journal "Biosphere". 2022. V. 14. № 4. Pp. 262-264.
2. Engalychev M. R., Jos E. A., Matyukina A. A., Verba O. V., Demidenko E. V., Sosnov V. S., Rubtsov A. A. Tomato selection for open ground in the south of Russia. Vegetables of Russia. 2024. № 2. Pp. 5-11.
3. Pleskachev Y. N., Kostin M. V. Degradation of lands in the Lower Volga region. Field research. 2020. № 7. Pp. 124-133.
4. Maksimov S. V., Bekov R. Kh. Practical results of cooperation in tomato breeding. Potatoes and vegetables. 2022. Pp. 17-19.
5. Kigashpaeva O. P., Avdeev A. Y. Branded Astrakhan Tomato Varieties. Problems of the development of the agro-industrial complex of the region. 2020. № 2 (42). Pp. 93-97.
6. Avdeev A. Yu., Kigashpaeva O. P., Sisengaliyeva S. T. Tomato varieties of VNIIOOB selection. Potatoes and vegetables. 2018. № 10. Pp. 33-35.
7. Gulina A. V. et al. Results and Prospects of Astrakhan Breeding of Vegetable and Melon Crops. Vegetables of Russia. 2021. № 5. Pp. 16-21.
8. Kuznetsov Y. V., Kolotvin V. M. Productivity of tomato varieties depending on the term of seedling planting and spatial placement on the square. Young scientist. 2019. № 25 (263). Pp. 75-79. <https://moluch.ru/archive/263/60956/>
9. Anishko M. Yu., Vilkova Zh. A., Pleskachev Y. N. Methods of Processing Light Chestnut Soils in Tomato Cultivation. Modern trends in solving the problems of the agro-industrial complex based on innovative technologies: a collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2021. Pp. 192-198.
10. Tyutyuma N. V., Pleskachev Y. N., Anishko M. Y. Efficacy of tomato foliar feeding in cultivation in the conditions of the Northern Caspian region. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2021. № 1 (47). Pp. 3-6.
11. Anishko M. Yu., Pleskachev Y. N., Maksimova N. S., Lebedeva L. V. Influence of methods of basic tillage on agrophysical indicators of soil and tomato yield. Problems of the development of the agro-industrial complex of the region. 2021. № 2 (46). Pp. 6-11.
12. Belenkov A. I., Pleskachev Y. N., Filin V. I., Abrashkina E. D. Fertigation of tomatoes in the open ground of the Gornaya Polyana Scientific and Practical Center of the Volgograd State Agrarian University. Potatoes and vegetables. 2020. № 8. Pp. 15-18.
13. Pleskachev Y. N., Lukyanenko E. A. Increasing the productivity of vegetable crops due to the correct use of foliar fertilization. International Agricultural Journal. 2019. № 5. Pp. 22-26.

Информация об авторах

Рогачев Максим Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20А), e-mail: maksimaugust@gmail.com

Бисалиев Арман Азаматович, аспирант, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20А), e-mail: bisaliev98@gmail.ru

Плескачев Юрий Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель научного направления, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (ФИЦ «Немчиновка»), (Российская Федерация, 143026, Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5771-5021>, e-mail: pleskachiov@yandex.ru

Воронов Сергей Иванович, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (ФИЦ «Немчиновка»), (Российская Федерация, 143026, Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8103-3909>, e-mail: vsi08@mail.ru

Authors' Information

Rogachev Maksim Vladimirovich, postgraduate student, Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev St., 20A), e-mail: maksimaugust@gmail.com

Bisaliev Arman Azamatovich, postgraduate student, Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev Street, 20A), e-mail: bisaliev98@gmail.ru

Pleskachev Yuri Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the scientific direction, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoy Boulevard, 30s1, Skolkovo Innovation Center), Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: pleskachiov@yandex.ru

Voronov Sergey Ivanovich, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoy Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8103-3909>, e-mail: vsi08@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-24

THE INFLUENCE OF AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE MIDDLE VOLGA REGION ON THE BAKING PROPERTIES OF SPRING SOFT WHEAT**Romenskaya S. E., Taranova T. Yu., Demina E. A., Kincharov A. I.**

*Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Breeding and Seed Production named after P. N. Konstantinov
Kinel, Samara Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: romen610@mail.ru

Received 21.02.2025

Submitted 14.04.2025

Abstract

Introduction. Improving the quality of wheat grain is one of the main tasks of modern agriculture. Grain used for baking purposes and flour obtained from this grain must have high quality indicators. The main baking properties of the varieties include the number of drops, the strength of the flour, the volume yield of bread, and the overall baking score. The purpose of the research is to study the influence of meteorological factors of the growing season on the baking properties of varieties in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. **Object.** The object of research was 36 varieties of spring soft wheat for competitive testing. **Materials and methods.** The research was conducted in 2021-2023 at the P. N. Konstantinov Volga Research Institute. The methods of State Variety testing and adaptability assessment were used, and the methods of the State Commission and current National Standards of the Russian Federation were used to evaluate quality indicators. **Results and conclusions.** The baking properties were more influenced by the prevailing conditions in June, July and August. Correlation analysis showed a strong positive relationship between the "number of falls" indicator and the temperature in June ($r = 0.88$), the temperature in August ($r = 0.74$), with precipitation in June ($r = 0.86$), the GTC in June ($r = 0.74$), and the "volume yield of bread" indicator and the temperature during the growing season ($r = 0.72$). A strong negative relationship was observed between the indicator "number of falls" and precipitation in August ($r = -0.79$), GTC in August ($r = -0.81$), between the indicator "volume yield of bread" and precipitation during the growing season ($r = -0.73$), GTC during the growing season ($r = -0.75$). The number of drops ($V - 29.9\%$) and the strength of flour ($V - 16.7\%$) were the most variable over the years, indicating their greater dependence on prevailing weather conditions, while the volume yield of bread and the overall baking score were more dependent on the genotypes of the varieties. According to the complex of baking properties, Kinel'skaya Zvezda and Erythrospermum 6487/10-6 varieties had the best adaptability, which consistently formed first-class grain.

Keywords: *spring soft wheat, conditions of soft wheat cultivation, quality of soft wheat grain, baking properties of wheat flour, volume yield of bread, general baking assessment.*

Citation. Romenskaya S. E., Taranova T. Yu., Demina E. A., Kincharov A. I. The influence of agrometeorological conditions of the Middle Volga region on the baking properties of spring soft wheat. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 219-229 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-24.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.111.1«321»:631.527:631.524.7

**ВЛИЯНИЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СРЕДНЕВОЛЖСКОГО РЕГИОНА
НА ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ СВОЙСТВА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ****Роменская С. Е.**, младший научный сотрудник**Таранова Т. Ю.**, младший научный сотрудник**Дёмина Е. А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник**Кинчаров А. И.**, кандидат сельскохозяйственных наук, директор*Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский
научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова
г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация*

Актуальность. Улучшение качества зерна пшеницы – одна из основных задач современного сельского хозяйства. Зерно, идущее на хлебопекарные цели, и мука, полученная из этого зерна, должны иметь высокие показатели качества. К основным хлебопекарным свойствам сортов относят число падения, силу муки, объемный выход хлеба, общую хлебопекарную оценку. Цель исследования – изучить влияние метеорологических факторов периода вегетации на хлебопекарные свойства сортов в лесостепных условиях Средневолжского региона. **Объект.** Объектом исследований являлись 36 сортов яровой мягкой пшеницы конкурсного испытания. **Материалы и методы.** Исследования проводили в 2021–2023 гг. в Поволжском НИИСС имени П. Н. Константинова. Использовали методики Государственного сортоиспытания, оценки адаптивности, для оценки качественных показателей – методику Госкомиссии и действующие Национальные стандарты РФ. **Результаты и выводы.** На хлебопекарные свойства большее влияние оказывали сложившиеся условия июня, июля и августа. Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между показателем «число падения» с температурой июня ($r = 0,88$), температурой августа ($r = 0,74$), с осадками июня ($r = 0,86$), ГТК июня ($r = 0,74$), между показателем «объемный выход хлеба» и температурой за вегетацию ($r = 0,72$). Сильная отрицательная связь прослеживалась между показателем «число падения» и осадками августа ($r = -0,79$), ГТК августа ($r = -0,81$), между показателем «объемный выход хлеба» и осадками за вегетацию ($r = -0,73$), ГТК за вегетацию ($r = -0,75$). Наибольшей вариабельностью по годам отличались показатели число падения ($V = 29,9 \%$) и сила муки ($V = 16,7 \%$), что говорит об их большей зависимости от сложившихся метеоусловий, показатели объемный выход хлеба и общая хлебопекарная оценка больше зависели от генотипов сортов. По комплексу хлебопекарных свойств лучшую адаптивность имели сорта Кинельская звезда и Эритроспермум 6487/10-6, стабильно формировавшие зерно первого класса.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, условия возделывания мягкой пшеницы, качество зерна мягкой пшеницы, хлебопекарные свойства пшеничной муки, объемный выход хлеба, общая хлебопекарная оценка.

Цитирование. Роменская С. Е., Таранова Т. Ю., Дёмина Е. А., Кинчаров А. И. Влияние агрометеорологических условий Средневолжского региона на хлебопекарные свойства яровой мягкой пшеницы. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 219–229. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-24.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время актуальной задачей, стоящей перед сельским хозяйством, является получение зерна пшеницы с высокими технологическими свойствами [1, 2], которые включают в себя ряд показателей, характеризующих мукомольные и хлебопекарные качества зерна [3, 4]. Яровая мягкая пшеница – одна из стратегически важных культур, которая может гарантировать производство зерна стабильно высокого качества и обеспечить экономическую самостоятельность для страны [3]. В то же время современные сорта пшеницы зачастую формируют высокие урожаи зерна с низкими продовольственными качествами, которые впоследствии используются на фуражные и технические цели [5, 6, 7].

Одним из путей повышения продуктивности и качества зерна яровой пшеницы является не только правильный подбор сортов, но и создание условий для оптимального роста и развития растений [8, 9]. С учетом непрерывного изменения климата важными аспектами формирования урожайности и качества зерна пшеницы являются осадки и температура воздуха в период вегетации [10]. Поэтому важной задачей для селекционера является получение сортов, формирующих высокое качество зерна, с меньшей зависимостью от погодных факторов [11].

Влияние неблагоприятных условий, а именно обильных осадков, росы, резких колебаний среднесуточных температур воздуха в период созревания зерна, приводит к его прорастанию и снижению качественных показателей (клейковина, белок, число падения, стекловидность, натура зерна и др.) [9]. При прорастании зерна в колосе происходят необратимые биохимические процессы внутри зерновки, активизируется альфа-амилаза (амилолитический фермент), мука из такого зерна не подходит для выпечки [12].

Также качество зерна пшеницы зависит от степени адаптации растений к совокупности экологических факторов окружающей среды. При изменяемых агрометеорологических условиях основной характеристикой адаптивных свойств сорта является показатель устойчивости к стрессу, который указывает на степень варьирования приспособительных возможностей [13].

Пригодность хлебопекарной муки для выпечки определяется, основываясь на важных показателях качества, таких как клейковина, ИДК (индекс деформации клейковины), число падения, сила муки, натура зерна и др. Принято считать, что чем больше сила муки, тем выше ее хлебопекарные свойства. Из зерна сильной пшеницы получается сильная мука, которая имеет высокую газообразующую способность при замешивании теста. Хлеб из такой муки получается правильный с большим объемом. Чем ниже сила муки, тем хуже тесто – тестовые заготовки липкие и расплывающиеся [14]. Общая хлебопекарная оценка (ОХО) позволяет оценить хлебобулочные изделия в совокупности всех показателей, таких как внешний вид, вкус, аромат и структура. О хлебопекарных свойствах муки вывод делают по пробным (лабораторным) выпечкам [15]. Число падения определяется активностью фермента альфа-амилазы в зерне и муке и показывает газообразующую способность муки. С увеличением активности альфа-амилазы число падения снижается и есть тенденция к прорастанию зерна и снижению его качества. Чем выше число падения, тем качественнее зерно [16].

Цель исследований – изучить влияние агрометеорологических факторов периода вегетации на хлебопекарные свойства сортов яровой мягкой пшеницы в лесостепных условиях Средневолжского региона.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2021-2023 гг. в Поволжском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова – филиале СамНЦ РАН, в лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы и в технологической лаборатории. Материалом для исследований являлись 36 сортов конкурсного сортоиспытания яровой мягкой пшеницы, это районированные и перспективные сорта селекции Поволжского НИИСС. Площадь делянок – 25 м², четырехкратная повторность, повторности размещали систематически. Норма высева посевного материала – 4,5 млн всхожих семян на гектар. Стандарт – сорт Тулайковская надежда (районированный по Средневолжскому (7) региону), служащий стандартом на сортоучастках Самарской области.

Агротехнические операции (обработка почвы, посев, уход за посевами, уборка) – традиционные для возделывания яровой пшеницы в Средневолжском регионе. Посев сортов питомника проводили сеялкой СКС-10М, уборку селекционным комбайном САМПО-130. Предшественник по севообороту – чистый пар.

Стрессоустойчивость сортов ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетическую гибкость ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) определяли по методике А. А. Гончаренко. Коэффициент адаптивности рассчитывали по методу Л. А. Животкова.

Исследования (полевые и лабораторные) проводили по методике государственного сортоиспытания [17]. Использовали действующие Национальные стандарты Российской Федерации. Реологические свойства (силу муки) определяли по ГОСТ 51415-99 с применением альвеографа, число падения по ГОСТ 27676-88, хлебопекарную оценку по лабораторным выпечкам по ГОСТ 27669-88. Оценку качества зерна и градацию пшеницы по классам проводили по ГОСТ 9353-2016. Для определения качественных показателей использовали приборы: Альвеограф NG Chopin, прибор для определения числа падения ПЧП-М. Объемный выход хлеба (из 50 г муки) и общую хлебопекарную оценку (ОХО) определяли методом лабораторных (пробных) выпечек хлеба.

Метеорологические данные получены в 2021-2022 гг. с метеостанции «Усть-Кинельская» Самарского ГАУ, в 2023 г. – с погодной станции «Усть-Кинельская» Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН.

Математическую обработку данных выполняли с помощью программы «Microsoft Office Excel» по методике Б. А. Доспехова [18].

Результаты и обсуждение. В условиях недостаточной влагообеспеченности региона Среднего Поволжья (в частности, его лесостепной части), ограничивающим фактором формирования зерна высокого качества является количество осадков и равномерность их распределения за вегетационный период растений пшеницы [19].

Вегетация пшеницы яровой и формирование показателей качества зерна в 2021-2023 гг. проходили в засушливых условиях (периодами отмечалась острая засуха – наблюдались повышенный температурный режим, дефицит выпавших осадков и суховеи). ГТК во все годы исследований был ниже нормы (0,73): 2021 – 0,39, 2022 – 0,62, 2023 – 0,41 (таблица 1).

Средняя температура воздуха за вегетацию во все годы исследований была выше многолетнего значения (18,1 °С), наиболее высокие значения показателя наблюдались в 2021 и 2023 гг. – 23,0 и 21,2 °С (отклонения 4,9 и 3,1 °С), в 2022 г. температурный режим был ближе к норме.

По влагообеспеченности опытных посевов наиболее благоприятным был 2022 г., с выпавшими осадками за вегетацию больше нормы на 11,9 мм. 2021 и 2023 гг. отличались дефицитом осадков, ниже многолетнего значения на 51,6 и 56,5 мм соответственно.

Таблица 1 – Метеорологические условия вегетации растений в годы проведения исследований (2021-2023 гг.)

Table 1 – Meteorological conditions of plant vegetation during the years of research (2021-2023)

Год / Year	Метеорологический параметр / Meteorological parameter				
	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	за вегетацию / per vegetation
Температура воздуха, °С (отклонение от многолетней нормы) / Air temperature, °C (deviation from the long-term norm)					
2021	20,7 (6,6)	22,9 (4,2)	23,5 (2,8)	24,7 (5,8)	23,0 (4,9)
2022	11,1 (-3,0)	19,0 (0,3)	22,6 (0,9)	24,2 (5,3)	19,2 (1,1)
2023	19,3 (5,2)	19,2 (0,5)	23,8 (3,1)	22,6 (3,7)	21,2 (3,1)
Многолетнее / Perennial	14,1	18,7	20,7	18,9	18,1
Осадки, мм (отклонение от многолетней нормы) / Precipitation, mm (deviation from the long-term norm)					
2021	20,8 (-12,2)	72,3 (33,3)	17,7 (-29,3)	0,6 (-43,4)	111,4 (-51,6)
2022	83,5 (50,5)	53,9 (14,9)	12,1 (-34,9)	25,4 (-18,6)	174,9 (11,9)
2023	8,0 (-25,0)	33,4 (-5,6)	47,6 (0,6)	17,5 (-26,5)	106,5 (-56,5)
Многолетнее / Perennial	33,0	39,0	47,0	44,0	163,0
ГТК (отклонение от многолетней нормы) / Hydrothermal coefficient (deviation from the long-term norm)					
2021	0,32 (-0,43)	1,05 (0,35)	0,24 (-0,49)	0,01 (-0,74)	0,39 (-0,34)
2022	3,59 (2,84)	0,94 (0,24)	0,17 (-0,56)	0,34 (-0,41)	0,62 (-0,11)
2023	0,14 (-0,61)	0,58 (-0,12)	0,64 (-0,09)	0,25 (-0,50)	0,41 (-0,32)
Многолетнее / Perennial	0,75	0,70	0,73	0,75	0,73

В 2021 г. вся вегетация яровой пшеницы проходила при повышенном температурном режиме, наиболее высокие среднесуточные температуры воздуха по сравнению с многолетними значениями наблюдались в мае и августе (отклонения от нормы 6,6 и 5,8 °С). Май, июль и особенно август отличались сильным дефицитом осадков (на 12,2, 29,3 и 43,4 мм ниже нормы соответственно), за эти месяцы выпало всего 39,1 мм осадков. Основная часть осадков выпала в июне – 72,3 мм, что составило 65 % от общего количества выпавших за вегетацию.

В 2022 г. условия вегетации были контрастными, но более благоприятными. Температурный режим в мае был прохладный (-3,0 °С от нормы), в июне и июле на уровне многолетних значений, август отличался высокими температурами, выше многолетних значений на 5,3 °С. Основное количество осадков (137,4 мм) выпало в первую половину вегетации, то есть в мае и июне, что составило 78 % от общих осадков за вегетацию. Напротив, в июле и августе стояла сухая погода, наблюдался дефицит осадков (за эти месяцы выпало всего 37,5 мм).

В 2023 г. большая часть вегетации яровой пшеницы (май, июль, август) проходила при повышенном температурном режиме, особенно это коснулось начального периода, а также периода созревания. Температура воздуха в мае была выше многолетней на 5,2 °С, в

июле и августе на 3,1 и 3,7 °С. Дефицит осадков наблюдался в мае и августе, ниже нормы на 25,0 и 26,5 мм. Июнь был близок к многолетним значениям, как по температуре воздуха, так и по выпавшим осадкам. Также осадки на уровне нормы выпали в июле.

За период исследований наиболее благоприятные погодные условия для формирования продуктивности пшеницы сложились в 2022 и 2023 гг., для качественных показателей зерна – в 2021 и 2023 гг. Также было установлено, что на вегетативную стадию развития растений яровой мягкой пшеницы большее влияние оказывают метеорологические условия мая и июня, на репродуктивную (генеративную) стадию – июля и августа.

В таблице 2 представлена корреляционная зависимость качественных показателей зерна (число падения, сила муки, объёмный выход хлеба, общая хлебопекарная оценка) сортов яровой мягкой пшеницы конкурсного испытания от агрометеорологических условий. На хлебопекарные свойства большее влияние оказывали сложившиеся условия июня, июля и августа. Корреляционные зависимости определяются коэффициентами, при этом корреляция считается сильной при $r > 0,7$, средней при r от 0,3 до 0,7, слабой при $r < 0,3$.

Таблица 2 – Корреляционная зависимость качественных показателей зерна яровой пшеницы конкурсного испытания от агрометеорологических условий, 2021-2023 гг.

Table 2 – Correlation dependence of quality indicators of spring wheat grain of competitive testing on agrometeorological conditions, 2021-2023

Качественный показатель / Quality indicator	Месяц вегетации / Vegetation Month			За вегетацию / For the growing season
	Июнь / June	Июль / July	Август / August	
Температура воздуха, °C / Air temperature, °C				
Число падения, с / Falling number, s	0,88	0,06	0,74	0,66
Сила муки, ед.а. / Rheological properties	0,12	0,41	-0,22	0,29
Объёмный выход хлеба, мл / Bread output volume, ml	0,51	0,69	-0,09	0,72
ОХО, балл / total baking grade, score	0,23	0,50	-0,19	0,42
Осадки, мм / Precipitation, mm				
Число падения, с / Falling number, s	0,86	-0,50	-0,79	-0,22
Сила муки, ед.а. / Rheological properties	-0,12	0,33	-0,22	-0,40
Объёмный выход хлеба, мл / Bread output volume, ml	0,11	0,36	-0,64	-0,73
ОХО, балл / total baking grade, score	-0,07	0,35	-0,34	-0,50
Гидротермический коэффициент (ГТК) / Hydrothermal coefficient (HTC)				
Число падения, с / Falling number, s	0,74	-0,50	-0,81	-0,34
Сила муки, ед.а. / Rheological properties	-0,22	0,33	-0,20	-0,38
Объёмный выход хлеба, мл / Bread output volume, ml	-0,10	0,36	-0,62	-0,75
ОХО, баллы / total baking grade, points	-0,20	0,35	-0,32	-0,50

Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между показателем «число падения» с температурой июня ($r = 0,88$), температурой августа ($r = 0,74$), с осадками июня ($r = 0,86$), ГТК июня ($r = 0,74$), между показателем «объёмный выход хлеба» и температурой за вегетацию ($r = 0,72$). Сильная отрицательная связь прослеживается между показателем «число падения» и осадками августа ($r = -0,79$), ГТК августа ($r = -0,81$), между показателем «объёмный выход хлеба» и осадками за вегетацию ($r = -0,73$), ГТК за вегетацию ($r = -0,75$). Критические значения $r_{0,05} = 0,325$, $r_{0,01} = 0,418$.

Средние положительные связи получены между показателем «число падения» и температурой за вегетацию ($r = 0,66$), показателем «сила муки» и температурой июля ($r = 0,41$), осадками июля ($r = 0,33$) и ГТК июля ($r = 0,33$), между показателем «объёмный выход хлеба» и температурой июня ($r = 0,51$), температурой июля ($r = 0,69$), осадками июля ($r = 0,36$) и ГТК июля ($r = 0,36$), а также между показателем «общая хлебопекарная оценка» и температурой июля ($r = 0,50$), температурой за вегетацию ($r = 0,42$), осадками июля ($r = 0,35$) и ГТК июля ($r = 0,35$). Средние отрицательные зависимости получены между пока-

зателем «число падения» и осадками июля ($r = -0,50$), ГТК июля ($r = -0,50$), между показателем «сила муки» и осадками за вегетацию ($r = -0,40$), ГТК за вегетацию ($r = -0,38$), между показателем «объемный выход хлеба» и осадками августа ($r = -0,64$) и ГТК августа ($r = -0,62$), а также между показателем «общая хлебопекарная оценка» и осадками августа ($r = -0,34$), осадками за вегетацию ($r = -0,50$), ГТК августа ($r = -0,32$), ГТК за вегетацию ($r = -0,50$).

По хлебопекарным показателям сорта яровой мягкой пшеницы Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН в исследуемые годы стабильно формировали зерно 1-3 класса. Варьирование хлебопекарных показателей сортов конкурсного сортоиспытания за годы исследований показано в таблице 3.

Таблица 3 – Варьирование качественных показателей сортов конкурсного сортоиспытания за годы исследований (2021-2023 гг.)

Table 3 – Variation of quality indicators of competitive variety testing varieties over the years of research (2021-2023)

Год \ Year / Показатель \ Index		Число падения, с / Falling number, s	Сила муки, ед.а. / Rheological properties	Объемный выход хлеба, мл / Bread output volume, ml	ОХО, балл / total baking grade, points
2021	min	403	196	480	3,7
	max	563	660	594	4,6
	Среднее / Average	500,9±13,2	408,3±44,6	521,2±10,1	4,2±0,1
	Vсорт, % / V grade, %	7,5	32,3	5,7	5,3
2022	min	237	203	330	3,4
	max	427	634	520	5,0
	Среднее / Average	333,6±14,4	317,4±38,4	431,0±15,2	3,9±0,1
	Vсорт, % / V grade, %	12,8	35,8	10,4	9,4
2023	min	204	190	460	4,0
	max	390	752	580	5,0
	Среднее / Average	288,5±14,3	443,5±38,5	504,9±9,0	4,3±0,1
	Vсорт, % / V grade, %	14,6	25,6	5,3	6,8
Среднее за 2021-2023 г. / Average for 2021-2023		374,4	389,7	485,7	4,1
Vгод, % / Vyear, %		29,9	16,7	9,9	5,1

Число падения варьировало в широких пределах, коэффициент вариации показателя по годам (Vгод) – 29,9 %: в 2021 г. – 403...563 с (Vсорт – 7,5 %), 2022 г. – 237...427 с (Vсорт – 12,8 %), 2023 г. – 204...390 с (Vсорт – 14,6 %). Наиболее высокий средний показатель числа падения у сортов и меньший коэффициент вариации наблюдался в 2021 г., этому способствовали повышенные среднесуточные температуры воздуха всего периода вегетации и практически отсутствие осадков в период созревания зерна. Варьирование по силе муки у изучаемых сортов было очень существенным и зависело от агрометеорологических условий – в 2021 г. от 196 до 660 ед.а. (Vсорт – 32,3 %), в 2022 г. – от 203 до 634 ед.а. (Vсорт – 35,8 %), в 2023 г. – от 190 до 752 ед.а. (Vсорт – 25,6 %). Коэффициент вариации показателя «сила муки» по годам значительный – 16,7 %. Наиболее высокие показатели «силы муки» у сортов отмечались в более засушливых 2021 и 2023 гг. Самые важные показатели хлебопекарных качеств – объемный выход хлеба и общая хлебопекарная оценка (ОХО), которая является средним показателем формы хлеба, пористости и эластичности мякиша. Объемный выход хлеба у сортов являлся более стабильным показателем и изменялся в пределах: в 2021 г. – 480...594 мл, 2022 г. – 330...520 мл, 2023 г. – 460...580 мл, коэффициенты вариации соответственно – 5,7 %, 10,4 % и 5,3 %. Лучший объемный выход хлеба у сортов получен в самом жарком и засушливом 2021 г. Общая хлебопекарная оценка сортов варьировала в 2021 г. от 3,7 до 4,6 баллов, в 2022 г. от 3,4 до 5,0 баллов, в 2023 г. от 4,0 до 5,0 баллов, коэффициент вариации по сортам соответственно – 5,3 %, 9,4 %, 6,8 %. Лучшая ОХО у сортов отмечалась в 2023 г.

Таблица 4 – Параметры адаптивности сортов яровой пшеницы по качественным показателям зерна и муки (2021-2023 гг.)

Table 4 – Adaptability parameters of spring wheat varieties in terms of grain and flour quality indicators (2021-2023)

Сорт / Sort	Стрессо- устойчивость / Resistance to stress	Генетическая гибкость / Genetic flexibility	Адаптивность, % / Adaptability, %
Число падения, с / Falling number, s			
Тулайковская надежда, st / Tulaykovskaya Nadezhda, st	-150	328	84,0
Кинельская звезда / Kinelskaya Zvezda	-171	397	101,0
Кинельская 2010 / Kinelskaya 2010	-160	435	112,7
Кинельская 2020 / Kinelskaya 2020	-179	430	109,6
Эритроспермум 6589/1-20-4 / Erythrospermum 6589/1-20-4	-174	415	106,9
Эритроспермум 6487/10-6 / Erythrospermum 6487/10-6	-177	423	108,7
Эритроспермум 6381 / Erythrospermum 6381	-172	403	104,7
Лютесценс 6310/3-28-20-9 / Lutescences 6310/3-28-20-9	-175	410	105,1
Эритроспермум 6310/3-28-20-3 / Erythrospermum 6310/3-28-20-3	-151	428	109,2
Сила муки, ед.а. / The power of flour			
Тулайковская надежда, st / Tulaykovskaya Nadezhda, st	-170	432	115,5
Кинельская звезда / Kinelskaya Zvezda	-288	438	107,6
Кинельская волна / Кинельская Volna	-79	517	133,5
Кинельская заря / Kinelskaya Zarya	-13	556	143,6
Кинельская удача / Kinelskaya Udacha	-111	448	113,7
Эритроспермум 6487/10-6 / Erythrospermum 6487/10-6	-227	449	115,6
Объемный выход хлеба, мл / Bread volumetric yield, ml			
Тулайковская надежда, st / Tulaykovskaya Nadezhda, st	-80	480	101,7
Кинельская юбилейная / Kinelskaya Ubileynaya	-30	505	105,2
Кинельская звезда / Kinelskaya Zvezda	-90	525	107,9
Кинельская 59 / Kinelskaya 59	-40	500	103,1
Эритроспермум 6487/10-6 / Erythrospermum 6487/10-6	-60	540	112,0
ОХО, балл / total baking grade, score			
Тулайковская надежда, st / Tulaykovskaya Nadezhda, st	-0,2	4,2	101,6
Кинельская юбилейная / Kinelskaya Ubileynaya	-0,1	4,4	108,1
Кинельская звезда / Kinelskaya Zvezda	-0,7	4,7	113,0
Эритроспермум 6612/1-3-12 / Erythrospermum 6612/1-3-12	-0,3	4,4	106,1
Эритроспермум 6487/10-6 / Erythrospermum 6487/10-6	-0,7	4,5	108,9
Эритроспермум 6310/3-28-20-3 / Erythrospermum 6310/3-28-20-3	-0,3	4,3	104,1
Лютесценс 6102/1-34 / Lutescences 6102/1-34	-0,4	4,4	106,5

Наибольшей вариабельностью по годам отличались показатели «число падения» и «сила муки», что говорит об их большей зависимости от сложившихся метеорологических условий, показатели «объемный выход хлеба» и «общая хлебопекарная оценка» больше зависели от генетических особенностей сорта и являлись менее вариабельными по годам показателями.

Рассчитаны параметры адаптивности сортов по хлебопекарным показателям. В таблице 4 представлены сорта яровой мягкой пшеницы, выделившиеся за годы исследований по хлебопекарным свойствам.

Показатель стрессоустойчивости имеет отрицательный знак, и, чем меньше разница между максимальным и минимальным значениями показателей, тем выше устойчивость сорта и тем шире спектр адаптаций сорта. По числу падения стрессоустойчивость изменялась в пределах от -304 до -147, по силе муки от -386 до -13, по объемному выходу хлеба от -234 до -15, по ОХО от -1,0 до -0,1. Показатель генетическая гибкость определяет релевантность генотипа сорта достаточному разнообразию погодных и агротехнических условий возделывания. Генетическая гибкость по признаку «число падения» варьировала от 320 до 435, силе муки от 200 до 559, по объемному выходу хлеба от 415 до 540, по ОХО от 3,8 до 4,7.

Адаптивность сортов рассчитывали по каждому хлебопекарному показателю, основываясь на уровне полученных значений в разные по агрометеорологическим условиям годы. Среднесортные значения качественных показателей по каждому году в конкурсном испытании брали за 100 %. Адаптивность по числу падения у сортов имела значение от 78,7 до 112,7 %, по силе муки от 51,9 до 153,1 %, по объемному выходу хлеба от 90,0 до 112,0 %, по ОХО от 92,7 до 113,0 %. Лучшая адаптивность по показателю число падения получена у сортов – Кинельская 2010 (112,7 %), Кинельская 2020 (109,6 %), Эритроспермум 6310/3-28-20-3 (109,2 %), Эритроспермум 6487/10-6 (108,7 %), по показателю сила муки у сортов – Эритроспермум 6589/1-20-4 (153,1 %), Кинельская заря (143,6 %), Кинельская волна (133,5 %). По объемному выходу хлеба и общей хлебопекарной оценке максимальные показатели адаптивности отмечены у сортов – Эритроспермум 6487/10-6 (112,0 и 108,9 %), Кинельская звезда (107,9 и 113,0 %) и Кинельская юбилейная (105,2 и 108,1 %). По комплексу хлебопекарных свойств (в особенности по объемному выходу хлеба и общей хлебопекарной оценке) лучшую адаптивность показали сорта Кинельская звезда и Эритроспермум 6487/10-6, стабильно во все годы формировавшие зерно первого класса.

Пробная выпечка хлеба – это основной метод определения хлебопекарных свойств муки изучаемых сортообразцов, в котором учитывается объемный выход хлеба и ОХО. На рисунках 1 и 2 представлены образцы хлеба из муки яровой мягкой пшеницы сортов Кинельская звезда и Эритроспермум 6487/10-6. В результате исследований выделенные образцы отличались высокими технологическими и хлебопекарными свойствами по изучаемым показателям.



Рисунок 1 – Пробная выпечка хлеба из муки яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская звезда
Figure 1 – Trial baking of bread from spring soft wheat flour of the Kinelskaya Zvezda variety



Рисунок 2 – Пробная выпечка хлеба из муки яровой мягкой пшеницы сорта Эритроспермум 6487/10-6
Figure 2 – Trial baking of bread from spring soft wheat flour of the Erythrosperrum 6487/10-6 variety

Заключение. По результатам исследований выявлены корреляционные зависимости качественных показателей зерна (число падения, сила муки, объемный выход хлеба, общая хлебопекарная оценка) сортов яровой мягкой пшеницы конкурсного испытания от агрометеорологических условий. Отмечено, что на хлебопекарные свойства большее влияние оказывают сложившиеся условия июня, июля и августа. Выявлены сильные положительные связи между показателем «число падения» с температурой июня ($r = 0,88$), температурой августа ($r = 0,74$), с осадками июня ($r = 0,86$), ГТК июня ($r = 0,74$), между показателем «объемный выход хлеба» и температурой за вегетацию ($r = 0,72$). Сильные отрицательные связи прослеживались между показателем «число падения» и осадками августа ($r = -0,79$), ГТК августа ($r = -0,81$), между показателем «объемный выход хлеба» и осадками за вегетацию ($r = -0,73$), ГТК за вегетацию ($r = -0,75$).

Большей вариабельностью по годам исследований отличались показатели «число падения» ($V - 29,9\%$) и «сила муки» ($V - 16,7\%$), что свидетельствовало об их большей зависимости от сложившихся агрометеорологических факторов, а показатели «объемный выход хлеба» и «общая хлебопекарная оценка» больше зависели от генетических особенностей сортов.

По хлебопекарным показателям сорта яровой мягкой пшеницы конкурсного испытания Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН в исследуемые годы стабильно формировали зерно 1-3 класса, были выделены сорта с наиболее высокими параметрами адаптивности, формировавшие зерно с высокими хлебопекарными показателями независимо от сложившихся погодных условий в период вегетации. По комплексу хлебопекарных свойств (в особенности по объемному выходу хлеба и общей хлебопекарной оценке) лучшую адаптивность имели сорта Кинельская звезда и Эритроспермум 6487/10-6, стабильно во все годы формировавшие зерно первого класса.

Conclusions. According to the research results, correlational dependences of grain quality indicators (number of drops, flour strength, bread volume yield, total bakery grade) of spring soft wheat varieties of competitive testing on agrometeorological conditions were revealed. It is noted that baking properties are more influenced by the prevailing conditions of June, July and August. Strong positive relationships were found between the "number of falls" indicator and the temperature in June ($r = 0.88$), the temperature in August ($r = 0.74$), the precipitation in June ($r = 0.86$), the GTC in June ($r = 0.74$), and the "volume yield of bread" indicator and the temperature during the growing season ($r = 0.72$). Strong negative relationships were observed between the indicator "number of falls" and precipitation in August ($r = -0.79$), GTC in August ($r = -0.81$), between the indicator "volume yield of bread" and precipitation during the growing season ($r = -0.73$), GTC during the growing season ($r = -0.75$).

The indicators "number of falls" ($V - 29.9\%$) and "strength of flour" ($V - 16.7\%$) were more variable over the years of research, which indicated their greater dependence on prevailing agrometeorological factors, while the indicators "bread volume yield" and "total baking score" were more dependent on the genetic characteristics of the varieties.

According to the baking parameters, the varieties of spring soft wheat tested competitively by the Volga Research Institute of the Russian Academy of Sciences in the studied years consistently formed grain of grades 1-3, varieties with the highest adaptability parameters were identified, forming grain with high baking parameters regardless of the prevailing weather conditions during the growing season. According to the complex of baking properties (especially in terms of the volume yield of bread and the overall baking rating), Kinelskaya Zvezda and Erythrosperrum 6487/10-6 varieties had the best adaptability – they consistently formed first-class grain over the years.

Библиографический список

1. Мелешкина Е. П. О необходимости производства зерна пшеницы – улучшителя. Хлебопродукты. 2018. № 12. С. 18-20.
2. Кунашаева Ж. М., Кодзокова М. Х. Зерновой хлеб. Новые технологии. 2019. № 1. С. 108-116.
3. Асеева Т. А. и др. Технологические и хлебопекарные свойства зерна яровой мягкой пшеницы. Вестник ДВО РАН. 2020. № 4. С. 14-19.
4. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Понятие и требования к качеству зерна пшеницы. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6 (110). С. 203-216.
5. Зверева Н. А., Терехин М. В., Мищенко Л. Н. Влияние погодных условий и природной зоны возделывания на качество зерна яровой пшеницы в Амурской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 4 (102). С. 10-13.
6. Асеева Т. А. и др. Влияние погодных условий на формирование урожая и качество зерна яровой пшеницы в среднем Приамурье. Вестник ДВО РАН. 2016. № 2 (186). С. 64-70.
7. Батудаев А. П., Цыдыпов Б. С. Агротехнические приемы и их влияние на урожайность и качество зерна яровой пшеницы. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2019. № 1 (54). С. 6-13.
8. Борисова Е. Е. Влияние предшественников на урожайность яровой пшеницы на серых лесных почвах Нижегородской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 5 (115). С. 13-17.
9. Кишев А. Ю., Мамсиоров Н. И. Некоторые аспекты действия минеральных удобрений на урожай и качество зерна яровой пшеницы. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 3 (45). С. 7-15.
10. Сухоруков А. Ф., Сухоруков А. А. Стратегия селекции озимой пшеницы в условиях variability агрометеорологических условий вегетации. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2 (2). С. 239-244.
11. Таранова Т. Ю. и др. Оценка сортообразцов яровой мягкой пшеницы по показателям качества зерна в изменяющихся условиях Средневолжского региона. Вестник Казанского ГАУ. 2024. № 2 (74). С. 25-31.
12. Cannon A. E. et al. Late-maturity α -amylase (LMA): exploring the underlying mechanisms and end-use quality effects in wheat. *Planta*. 2022. V. 255. № 2.
13. Барковская Т. А., Гладышева О. В. Адаптивные свойства и экологическая пластичность перспективных линий яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья России. Аграрная наука Евро Северо-Востока. 2024. № 25 (1). С. 35-42.
14. Сибирина Т. Ф., Мельникова Е. В., Мордвинова Н. М. и др. Прогнозирование силы муки яровой пшеницы, возделываемой в условиях лесостепи. Эпоха науки. 2020. № 21. С. 49-60.
15. Калабина Т. С., Елисеев С. Л., Яркова Н. Н. Урожайность, технологические показатели качества зерна и хлебопекарные свойства муки озимой пшеницы. Пермский аграрный вестник. 2020. № 4 (32). С. 41-49.
16. Мальчиков П. Н. и др. Дифференцирующая способность условий среды и оценка сортов яровой пшеницы твердой по числу падения. Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 4. С. 67-74.
17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М., 2019. 329 с.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
19. Кулеватова Т. Б. и др. Аспекты качества зерна яровой мягкой пшеницы. Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». 2023. № 2 (46). С. 117-124.

References

1. Meleshkina E. P. On the need to produce wheat improver grains. *Bread products*. 2018. No. 12. Pp. 18-20.
2. Kunashaeva Zh. M., Kodzokova M. H. Grain bread. *New technologies*. 2019. No. 1. Pp. 108-116.
3. Aseeva T. A. et al. Technological and baking properties of spring soft wheat grain. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2020. No. 4. Pp. 14-19.
4. Malkanduev Kh. A., Shamurzaev R. I., Malkandueva A. H. The concept and requirements for the quality of wheat grain. *Proceedings of the Kabardino-Balkaria Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No. 6 (110). Pp. 203-216.
5. Zvereva N. A., Terekhin M. V., Mishchenko L. N. The influence of weather conditions and the natural zone of cultivation on the quality of spring wheat grain in the Amur region. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2013. No. 4 (102). Pp. 10-13.
6. Aseeva T. A. et al. The influence of weather conditions on the formation of yield and grain quality of spring wheat in the Middle Amur region. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016. No. 2 (186). Pp. 64-70.
7. Batudaev A. P., Tsypdypov B. S. Agrotechnical techniques and their applications influence on yield and grain quality of spring wheat. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov*. 2019. No. 1 (54). Pp. 6-13.
8. Borisova E. E. The influence of precursors on the yield of spring wheat on gray forest soils of the Nizhny Novgorod region. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2014. No. 5 (115). Pp. 13-17.
9. Kishev A. Yu., Mamsirov N. I. Some aspects of the effect of mineral fertilizers on the yield and quality of spring wheat grain. *Izvestiya Kabardino-Balkaria State Agrarian University named after V. M. Kokov*. 2024. No. 3 (45). Pp. 7-15.
10. Sukhorukov A. F., Sukhorukov A. A. Strategy of winter wheat breeding in conditions of variability of agrometeorological conditions of vegetation. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018. Vol. 20. No. 2 (2). Pp. 239-244.
11. Taranova T. Y. et al. Assessment of varietal samples of spring soft wheat according to grain quality indicators in the changing conditions of the Middle Volga region. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. 2024. No. 2 (74). Pp. 25-31.

12. Cannon A. E. et al. Late-maturity α -amylase (LMA): exploring the underlying mechanisms and end-use quality effects in wheat. *Planta*. 2022. V. 255. № 2.
13. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V. Adaptive properties and ecological plasticity of promising lines of spring soft wheat in the conditions of the Central Non-Chernozem region of Russia. *Agrarian Science of the Euro North-east*. 2024. No. 25 (1). Pp. 35-42.
14. Sibirina T. F., Melnikova E. V., Mordvinova N. M. et al. Forecasting the strength of spring wheat flour cultivated in the forest-steppe. *Epoch of Science*. 2020. No. 21. Pp. 49-60.
15. Kalabina T. S., Eliseev S. L., Yarkova N. N. Yield, technological indicators of grain quality and baking properties of winter wheat flour. *Perm Agrarian Bulletin*. 2020. No. 4 (32). Pp. 41-49.
16. Malchikov P. N. et al. Differentiating ability of environmental conditions and assessment of spring durum wheat varieties by the number of drops. *Grain industry of Russia*. 2024. Vol. 16. No. 4. Pp. 67-74.
17. Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part. Moscow, 2019. 329 p.
18. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p.
19. Kulevatova T. B. et al. Aspects of the grain quality of spring soft wheat. *Scientific and production journal "Leguminous and cereal crops"*. 2023. No. 2 (46). Pp. 117-124.

Информация об авторах

Роменская Светлана Евгеньевна, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID 0009-0006-8909-5326, e-mail: romen610@mail.ru

Таранова Татьяна Юрьевна, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID 0000-0003-3090-8549, e-mail: tatyana_0710.88@mail.ru

Дёмина Елена Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID 0000-0002-4470-8022, e-mail: elena_pniiss@mail.ru

Кинчаров Александр Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID 0000-0001-5492-8582, e-mail: kincharov_ai@mail.ru

Authors' Information

Romenskaya Svetlana Evgenievna, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, P. N. Konstantinov Volga Scientific Research Institute of Breeding and Seed Production (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Shosseynaya str., 76), ORCID 0009-0006-8909-5326, e-mail: romen610@mail.ru

Taranova Tatiana Yurievna, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, P. N. Konstantinov Volga Scientific Research Institute of Breeding and Seed Production (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Shosseynaya str., 76), ORCID 0000-0003-3090-8549, e-mail: tatyana_0710.88@mail.ru

Demina Elena Anatolyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, P. N. Konstantinov Volga Scientific Research Institute of Breeding and Seed Production (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Shosseynaya str., 76), ORCID 0000-0002-4470-8022, e-mail: elena_pniiss@mail.ru

Kincharov Aleksander Ivanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Director, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, P. N. Konstantinov Volga Scientific Research Institute of Breeding and Seed Production (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Shosseynaya str., 76), ORCID 0000-0001-5492-8582, e-mail: kincharov_ai@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-25

THE SCIENTIFIC AND PRACTICAL EXPERIENCE IN THE USE OF VARIOUS HERBICIDES IN THE CULTIVATION OF THE OIL FLAX¹Sindyukova V. A., ²Petrov N. Yu., ¹Denisov K. E., ²Gorbacheva A. S.¹*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov"*
Saratov, Russian Federation²*Volgograd State Agrarian University"*
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 22.02.2025

Submitted 16.05.2025

Abstract

Introduction. The technology of cultivating any agricultural crop implies a multi-stage approach, accompanied by numerous scientific studies and experiments. Oilseed flax is a fairly new crop for mass cultivation, which attracts modern specialists to apply new methods and technologies to existing ones. According to the research results, it can be concluded that in order to increase the yield of oilseed flax from 60-80 %, it is necessary to use both soil herbicides before sowing, as well as systemic anti-slag herbicides and herbicides against dicotyledonous plants in the tank mixture in the Herringbone phase. The effectiveness of herbicides

in modern agronomy is beyond doubt, but research on their relevance to crops such as oilseed flax requires sufficient study. **The object of the study.** The presented article provides a literary review of the effect of selective herbicides in oilseed flax crops. **Materials and methods.** The authors investigated such drugs as Herbitox, Furex and Miura, as well as their tank mixtures. The main focus is on the yield of seeds and flax, as well as key productivity indicators: oil content, protein mass, plant height and weight of 1000 seeds. **Results and conclusions.** A number of studies have confirmed the particular importance of using herbicides in oilseed flax crops. This is an important element in the technology of crop cultivation, which helps to achieve high yields of crops with high seed quality.

Keywords: oilseed flax, herbicides, weeds, tank mixtures

Citation. Sindjukova V. A., Petrov N. Yu., Denisov K. E., Gorbacheva A. S. The scientific and practical experience in the use of various herbicides in the cultivation of the oil flax. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 229-236 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-25.

The author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest

УДК 635.2

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕРБИЦИДОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

¹Синдюкова В. А., аспирант

²Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Денисов К. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Горбачева А. С., кандидат экономических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н. И. Вавилова»

г. Саратов, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Технология возделывания любой сельскохозяйственной культуры подразумевает многоступенчатый подход, сопровождающийся многочисленными научными исследованиями и экспериментами. Лен масличный – достаточно новая культура для массового возделывания, что привлекает современных специалистов применить новые методы и технологии к уже имеющимся. По результатам исследований можно сделать вывод, что для повышения урожайности льна масличного от 60-80 %, необходимо применение как почвенных гербицидов до посева, так и системных противозлаковых гербицидов и гербицидов против двудольных растений в баковой смеси в фазе «Елочка». Эффективность применения гербицидов в современной агрономии не вызывает сомнения, но исследования их актуальности по такой культуре, как лен масличный, требует достаточного изучения. **Объект исследования.** В представленной статье проводится литературный обзор влияния гербицидов избирательного действия в посевах льна масличного. **Материалы и методы.** Авторы исследовали такие препараты, как Гербитокс, Фурекс и Миура, а также их баковые смеси. Основное внимание уделяется урожайности семян и льносолумы, а также ключевым показателям продуктивности: содержанию масла, массе протеина, высоте растений и массе 1000 семян. **Результаты и выводы.** Ряд исследований подтвердили особую важность применения гербицидов в посевах масличного льна. Это является важным элементом в технологии возделывания культуры, который помогает достичь высоких урожаев культуры с высоким качеством семян.

Ключевые слова: лен масличный, гербициды, сорная растительность баковые смеси.

Цитирование. Синдюкова В. А., Петров Н. Ю., Денисов К. Е., Горбачева А. С. Научно-практический опыт применения различных гербицидов при возделывании льна масличного. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 229-236. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-25.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Лен масличный – «...очень ценная техническая культура, дающая высококачественное техническое, пищевое масло и высокобелковый корм для животных» [11, 14, 22, 46, 57].

По мнению С. А. Хрикан (2017), «...рынок масличной продукции является важнейшей составляющей и неотъемлемой частью агропродовольственного рынка. Масличные культуры и продукты их переработки как для отдельного человека, так и для всей экономи-

ки страны имеют большое значение. Это также связано с тем, что интерес к масличному производству в последние годы возрос в связи с высоким спросом на масличные культуры и продукты их переработки на мировом и российском рынках» [12, 30, 51].

По данным Н. А. Кудрявцева (2021), «...лен из-за слабо развитого листового аппарата и медленного роста, особенно в начальный период вегетации, относится к группе растений со слабой конкурентоспособностью по отношению к сорнякам. Поэтому необходимо уделять большое внимание, как на засорённость посевов льна масличного, так и на меры борьбы с сорно-полевой растительностью» [3, 45, 47].

В зависимости от факторов, таких как выращиваемая культура, климат местности, тип почвы, в растениеводстве существуют различные методы борьбы с сорняками. Причём вопросы эффективности каждого из них остаются дискуссионными как в России, так и за рубежом. Для борьбы с сорной растительностью в посевах льна масличного необходимо использовать гербициды. Данные препараты играют важную роль в защите растений» [15, 31, 44, 56].

Результаты и их обсуждение. Так, в статье А. Н. Арефьева рассматривается «...влияние гербицидов избирательного действия на масличный лен. Авторы исследовали такие препараты, как Гербитокс, Фурекс и Миура, а также их баковые смеси. Основное внимание уделяется урожайности семян и льносолумы, а также ключевым показателям продуктивности: содержанию масла, массе протеина, высоте растений и массе 1000 семян. В результате проведенных исследований установлено, что на выщелоченных черноземах лесостепи Среднего Поволжья урожайность семян льна масличного зависела от применения гербицидов. Вариант обработки посевов гербицидом Гербитокс + Миура (1,0+1,0 л/га) в условиях 2019-2020 гг. был наиболее эффективным, обеспечившим наибольшую урожайность семян 1,60 т/га и сбор масла – 606,6 кг/га. Совместное применение гербицидов Гербитокс + Миура (1,0+1,0 л/га) способствовало достоверному увеличению сырого протеина и сбору сырого протеина в семенах льна масличного сорта Исток [1, 17, 29].

Следует отметить, что выбор гербицидов должен основываться на конкретных условиях поля, таких как состав почвы и климатические особенности региона [32, 43, 52].

Бушнев А. С. в своих исследованиях установил, что «...наиболее эффективные баковые смеси гербицидов, которые защитят лен масличный от сорной растительности в различных зонах увлажнения Западного Предкавказья. Он выявил, что в зоне неустойчивого увлажнения положительное влияние на урожайность и показатель масличности семян льна, оказывает использование баковой смеси Миура, КЭ (1,2 л/га)+ Гербитокс, ВРК (1,0 л/га), а в зоне недостаточного увлажнения – Миура, КЭ(1,2 л/га) + Секатор Турбо, МД (0,1 л/га). Эти баковые композиции гербицидов могут быть использованы при возделывании масличного льна. Однако, баковые смеси Миура, КЭ (1,2 л/га) + Тифи, ВДГ (0,025 кг/га) и Миура, КЭ(1,2 л/га) + Магнум, ВДГ (0,01 кг/га) оказали негативное действие на посевы культуры, в результате чего снизились показатели продуктивности и экономической эффективности, поэтому данные препараты не рекомендуются к использованию при возделывании льна масличного [2, 16, 23, 28, 42].

Кроме того, «...важно следить за тем, чтобы гербициды не оказали негативного воздействия на сам лен масличный. Неправильное применение или избыток препаратов может привести к угнетению растений, что снижает общий урожай. Гербициды, применяемые в посевах льна, должны обеспечивать гибель не менее 70 % сорняков или соответствующее уменьшение их массы (минимальную биологическую эффективность на уровне 70 %). Кроме того, они должны быть безопасными для культурных растений, способствовать их продуктивности. Необходимо соответствие средств защиты растений экологическим и экономическим критериям современных агротехнологий. Обеспечение этих требований достигается за счёт поиска новых препаратов и экологизации, рационализации их использования, в частности при комбинировании традиционных препаратов с другими гербицидами в сниженных нормах внесения, с защитно-стимулирующими и антистрессовыми средствами» [3, 18, 48, 58].

Именно поэтому агрономы рекомендуют комбинировать химические методы борьбы с сорняками с агрономическими практиками, такими как севооборот, использование сидератов и поддержание здорового почвенного баланса. Это поможет создать более устойчивую систему, которая будет ограничивать рост нежелательных растений [27, 33, 41, 53].

Н. С. Егорова считала, что «использование в технологии возделывания гербицидов является обязательным условием получения высоких урожаев и качественных льносемян. В своих исследованиях выявила, что наиболее высокую прибавку урожая показали гербицид Агритокс (1 л/га) – 0,97 т/га и баковая смесь Магнум (5 г/га) +Хакер(120 г/га) – 0,94 т/га. Прибавка на варианте с Лонтрелом-300 (0,2 л/га), в среднем составила 0,38 т/га, а на варианте с Хакером (120 г/га) – 0,49 т/га» [4, 19, 40, 49].

По данным О. Д. Филиппук, П. П. Трефилов, Г. Я. Ратушняк, «...при возделывании льна масличного, наилучшими препаратами в отношении сорных растений и по увеличению урожайности льна масличного были варианты, где применяли смеси препаратов Гербитокс-Л, ВРК + Магнум, ВДГ + Хакер, ВГ (эталон) Галион, ВР + Магнум, ВДГ, Галион, ВР + Алсион, ВДГ» [5, 21, 34, 59].

Для подавления злаковых и двудольных сорняков в посевах льна масличного в основном применяют гербициды в фазе «елочки», например Агрошанс, ВК. Исследования показали, что «...данные препараты слабо влияют на такие виды, как горца, ромашки, пикульники, осоты. Поэтому при засоренности этими сорняками рекомендуется использовать препарат на основе клопиралида – Шанстрел-300, ВР. Злаковые сорняки (пырей, просо куриное, щетинники) уничтожают препаратами Галошанс, КЭ и Клетошанс, КЭ. Немаловажным фактором являются погодные условия, сформировавшиеся во время обработки – значительно снижается действие гербицидов на сорняки при обработке посевов в дождливую и холодную погоду. Наилучшим временем для обработки посевов является утро и вечер (сухая и жаркая погода), при температуре воздуха +15-20 °С. При применении химических средств защиты растений не может быть исключена возможность вторичного засорения посевов льна в период цветения – бутонизации, что может значительно осложнить уборку» [6, 20, 39, 54].

По мнению В. А. Прудникова, Н. В. Степанова, Д. П. Чирик, С. В. Любимова «...прополка посевов должна быть проведена в фазе развития льна масличного «елочка», при высоте растений 0,04-0,08 м. Применение гербицидов в более поздние сроки сопровождается достоверным снижением урожайности маслосемян: в фазе бутонизации на 34,9 %, в фазе цветения – на 50,0 %» [7, 24, 35, 50].

В статье Г. А. Медведева, Д. Е. Михалькова, Н. В. Кочубеева, А. А. Голева «...изложены результаты применения различных гербицидов и их баковых смесей на посевах сортов льна масличного в двух почвенных зонах Волгоградской области. Все испытанные гербициды значительно повышали урожайность семян льна масличного. Гербицид Зелек-супер повышал урожайность сортов от 64,2 до 69,3 %, гербицид Лонтрел 300 – от 80,7 до 89,6 % и баковая смесь этих гербицидов повышала урожайность льна масличного от 76,9 до 82,1 %. Следовательно, на черноземных почвах наибольшую прибавку урожайности обеспечил гербицид Лонтрел 300» [8, 36, 55].

Высокую эффективность «...в подавлении злаковых сорняков в период вегетации льна масличного проявляют гербициды Фуроре Супер 7,5, 6,9 % э.м.в. (0,8-1,2 кг/га), Фюзилад Форте, 15 % к.э. (0,75–1,00 кг/га) внесенные в фазе «елочки». Против двудольных сорняков — Базагран, 48 % в.р. (3-4 кг/га), Хармони, 75 % с.т.с. (0,01-0,025 кг/га). Применять гербициды следует дифференцированно с учетом степени засоренности и видового состава сорной растительности при строгом соблюдении норм и равномерности их внесения в оптимальные сроки развития сорняков и льна масличного» [9, 26, 38, 60].

По данным А. А. Кунцевич выявлено, что «...использование обработок гербицидами снижало засоренность посевов, стимулировало развитие растений, повышало урожайность культуры. Баковые смеси гербицидов обеспечили значительный прирост урожая семян льна по отношению к контрольному варианту. Наибольший эффект наблюдали в варианте обработки посевов льна масличного смесью препаратов Агритокс в дозе 0,8 л/га и Пантера 1 л/га (2,29 т/га)» [10, 25, 37].

Заключение. Таким образом, ряд исследований подтвердили особую важность применения гербицидов в посевах масличного льна. Это является важным элементом в технологии возделывания культуры, который помогает достичь высоких урожаев культуры с высоким качеством семян.

Conclusions. The technology of cultivating any agricultural crop implies a multi-stage approach, accompanied by numerous scientific studies and experiments. Oilseed flax is a fairly new crop for mass cultivation, which attracts modern specialists to apply new methods and technologies to existing ones. According to the research results, it can be concluded that in order to increase the yield of

oilseed flax from 60-80 %, it is necessary to use both soil herbicides before sowing, as well as systemic anti-slag herbicides and herbicides against dicotyledonous plants in the tank mixture in the Herringbone phase. The effectiveness of herbicides in modern agronomy is beyond doubt, but research on their relevance to crops such as oilseed flax requires sufficient study

Библиографический список

1. Арефьев А. Н., Бражников Д. В. Влияние гербицидов на продуктивность льна масличного. Молочно-хозяйственный Вестник. 2021. № 4. С. 8-19.
2. Бушнев А. С. и др. Эффективность применения баковых смесей гербицидов при возделывании масличного льна в условиях зон неустойчивого и недостаточного увлажнения западного Предкавказья. Масличные культуры. 2022. № 3 (191). С. 60-66.
3. Кудрявцев Н. А., Зайцева Л. А., Курбанова З. К. Обеспечение чистоты и здоровья посевов льна при обработке новыми пестицидами. Вестник НГАУ. 2021. № 2. С. 43-52.
4. Егорова Н. С. Особенности использования гербицидных и органоминеральных обработок при возделывании льна масличного. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2016. № 1 (29). С. 22-26.
5. Филиппук О. Д. Эффективность применения гербицидов при возделывании масличного льна в условиях юга Нечернозёмной зоны. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 2 (100). С. 36-44.
6. Васин В. Г. и др. Приёмы возделывания масличных культур (лён масличный, яровой рапс, яровой рыжик) в Северном Казахстане: монография. Самара: СамГАУ, 2022. 366 с.
7. Прудников В. А. и др. Влияние гербицидов послевсходового действия на рост и развитие растений льна масличного. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1. С. 102-106.
8. Медведев Г. А. и др. Эффективность гербицидов на посевах льна масличного в условиях Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 2. С. 45-49.
9. Наумкин В. Н., Ступин А. С. Технология растениеводства. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 592 с.
10. Кунцевич А. А. Продуктивность льна масличного при использовании различных гербицидных обработок. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2014. № 3 (23). С. 91-94.
11. Посыпанов Г. С. и др. Растениеводство. Москва: ИНФРА-М, 2023. 612 с.
12. Хрикий С. А. Эффективность выращивания льна масличного в современных условиях. Молодой ученый. 2017. № 1 (135). С. 281-284.
13. Магарамов Б. Г. и др. Агробиологические основы растениеводства. Махачкала: ДагГАУ имени М. М. Джамбулатова, 2024. 152 с.
14. Бессонова Е. В. Наступление фаз развития основных сельскохозяйственных культур на территории СССР. Географический сборник. Вопросы фенологии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1957. Вып. 9. С. 34-65.
15. Лабораторные работы по растениеводству. Биологические основы сельского хозяйства. Томск: ТГПУ, 2019. Т. 1. 242 с.
16. Буряков Ю. П., Ивановский В. К., Осипов П. Ф. Масличный лён. М.: Россельхозиздат, 1971. 110 с.
17. Бушнев А. С., Лучкина Т. Н., Орехов Г. И. Реализация генетического потенциала семенной продуктивности новых сортов масличного льна с учетом современных ресурсосберегающих технологий южного федерального округа. Масличные культуры. 2020. № 3. С. 84-91.
18. Васина Н. В. Растениеводство: методические указания. Самара: СамГАУ, 2019. 36 с.
19. Виноградов Д. В., Егорова Н. С., Поляков А. В. Перспективы возделывания льна масличного сорта Санлин в южной части Нечерноземной зоны России. Почвы Азербайджана: генезис, география, мелиорация, рациональное использование и экология: материалы международной научной конференции. Баку-Габала: НАН Азербайджана, 2012. С. 1025-1027.
20. Виноградов Д. В., Поляков А. В., Кунцевич А. А. Экспериментальное обоснование технологии выращивания льна масличного сорта Санлин. Вестник РГАУ. 2013. № 2 (18). С. 7-11.
21. Рысев М. Н. и др. Влияние предшественников и концентрации посевов льна-долгунца в севообороте на урожайность и качество льнопродукции. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 2-13.
22. Гатаулина Г. Г., Бугаев П. Д., Долгодворов В. Е. Растениеводство. Москва: ИНФРА-М, 2023. 608 с.
23. Бушнев А. С. и др. Гербициды почвенного действия в системе защиты масличного льна от сорняков на юге России. Масличные культуры. 2022. № 1 (189). С. 62-73.
24. Глухих М. А. Технологии производства продукции растениеводства. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 148 с.
25. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений: ГОСТ 28268-89.
26. Пестициды. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2022. Т. 1.
27. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Фазы роста льна. Краткий справочник по физиологии растений. Киев: Наукова Думка, 1964. 330 с.
28. Гушина В. А., Лыкова А. С. Коммерческие культуры. Пенза: ПГАУ, 2018. 294 с.
29. Долгов Б. С., Семенова, З. М. и др. Методические указания по проведению полевых опытов со льном-долгунцом. М.: Колос, 1969. 40 с.
30. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.
31. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

32. Дригидер В. К., Есаулко А. Н., Дорожко Г. Р. Лён масличный на Ставрополье: монография. Ставрополь: СтГАУ, 2013. 148 с.
33. Есипенко Л. П. Прогноз в защите растений. Краснодар: КубГАУ, 2019. 202 с.
34. Иванова Т. Е., Бортник Т. Ю., Лекомцева Е. В. Методика опытного дела. Ижевск: УдГАУ, 2020. 175 с.
35. Ильина А. И. Влияние внешних условий на прохождение световой стадии масличного льна и формирование генеративных органов. Краткий отчет (ВНИИМК) о НИР за 1950 год. Краснодар, 1951. С. 163-168.
36. Качинский Н. А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1970. 358 с.
37. Коломейченко В. В. Полевые и огородные культуры России. Зернобобовые и масличные: монография. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 520 с.
38. Кониева Г. Н., Батыров В. А., Джиргалова Е. А. Биологические особенности масличных культур. Элиста: КГУ, 2022. 85 с.
39. Кунцевич А. А., Виноградов Д. В., Егорова Н. С. Использование гербицидов в посевах льна масличного. Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных культур: материалы Международной научной конференции. Рязань, 2013. С. 188-190.
40. Бекмухамедов Э. Л. и др. Лекарственная флора Казахстана. Астана: КазАТУ, 2022. 368 с.
41. Егорова Г. С. и др. Лекарственные и эфиромасличные растения. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2022. 136 с.
42. Минкевич И. А. Лён масличный. М.: Сельхозгиз, 1957. 179 с.
43. Муха В. Д., Муха Д. В., Ачкасов А. Л. Практикум по агрономическому почвоведению. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 480 с.
44. Носевич М. А., Абушинова Е. В. Влияние уровня минерального питания на урожайность, накопление и состав масла семян льна масличного в условиях Ленинградской области. Масличные культуры. 2017. № 2 (170). С. 64-69.
45. Носевич М. А. Использование органоминерального удобрения лигногумат в технологии возделывания льна масличного (*linum usitatissimum* L.). Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 2 (71). С. 20-31.
46. Каменев Р. А. и др. Оптимизация питания масличных культур в органическом земледелии: монография. Персиановский: Донской ГАУ, 2022. 238 с.
47. Петрова А. А., Смирнова Т. И. Влияние подкормки хелатными соединениями на общую продуктивность и масличность семян льна-долгунца. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1. С. 65-71.
48. Наумкин В. Н. и др. Пищевые и лекарственные свойства культурных растений. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 400 с.
49. Подлипная А. А., Виноградов Д. В. Урожайность льна масличного в зависимости от доз удобрений в условиях нечерноземной зоны. Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 19. С. 48-55.
50. Гришин П. Н. и др. Почвы Саратовской области. Саратов: Вавиловский университет, 2023. 362 с.
51. Иванов В. М. и др. Практикум по растениеводству. Волгоград: ВолГАУ, 2022. 388 с.
52. Федотов В. А. и др. Растениеводство. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 328 с.
53. Посыпанов Г. С. и др. Растениеводство. М.: Колос, 2006. С. 458-462.
54. Фурсова А. К. и др. Технические и кормовые культуры. Растениеводство. Санкт-Петербург: Лань, 2022. Т. 2. 384 с.
55. Рыжеева О. И. Лён масличный. Руководство по селекции и семеноводству масличных культур. М.: Колос, 1967. С. 121-172.
56. Савельев В. А. Растениеводство. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 316 с.
57. Сафонов М. Д. Селекция и семеноводство льна масличного. Научный отчет Воронежской опытной станции масличных культур. Воронеж, 1952. С. 116-145.
58. Bondarev I., Popirlan G., Nicolae H., Sin.Gh. Efectul unor masuri agrotehnice asupra productiei de seminte, ulei si fibre la inul pentru ulei si mixt. Analele Institutului de cercetari pentru cereale si plante tehnice. Fundulea. 1979. Vol. 44. Pp. 269-276.
59. Kumar A. Agro-technology for linseed production. Indian Farmer's Digest. 1989. Vol. 22. № 9. Pp. 7-9.
60. Daun J., Barthet V., Chornick T., Duguid S. Structure, composition, and variety development of flaxseed. dans: Flaxseed in Human Nutrition. Champaign, Illinois, 2003.

References

1. Arefyev A. N., Brazhnikov D. V. Effect of herbicides on the productivity of oil flax. Dairy Bulletin. 2021. No. 4. Pp. 8-19.
2. Bushnev A. S. et al. Efficacy of the use of tank mixtures of herbicides in the cultivation of oilseed flax in the conditions of zones of unstable and insufficient moisture in the western Ciscaucasia. Oilseeds. 2022. No 3 (191). Pp. 60-66.
3. Kudryavtsev N. A., Zaitseva L. A., Kurbanova Z. K. Ensuring the Cleanliness and Health of Flax Crops When Treated with New Pesticides. Vestnik NGAU. 2021. No. 2. Pp. 43-52.
4. Egorov N. S. Features of the use of herbicidal and organomineral treatments in the cultivation of oil flax. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2016. No 1 (29). Pp. 22-26.
5. Filipchuk O. D. Efficacy of Herbicide Application in Oilseed Flax Cultivation in the South of the Non-Chernozem Zone. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2023. № 2 (100). Pp. 36-44.
6. Vasin V. G. et al. Methods of cultivation of oilseeds (oil flax, spring rapeseed, spring camelina) in Northern Kazakhstan: monograph. Samara: SamGAU, 2022. 366 p.
7. Prudnikov V. A. et al. Influence of post-emergence herbicides on the growth and development of oil flax plants. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2015. № 1. Pp. 102-106.
8. Medvedev G. A., et al. Efficacy of herbicides on oil flax crops under conditions of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2013. № 2. Pp. 45-49.
9. Naumkin V. N., Stupin A. S. Plant Production Technology. St. Petersburg: Lan, 2023. 592 p.

10. Kuntsevich A. A. Productivity of Oil Flax in the Use of Various Herbicidal Treatments. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2014. № 3 (23). Pp. 91-94.
11. Posypanov G. S. et al. Plant Production. Moscow: INFRA-M, 2023. 612 p.
12. Khrikyan S. A. Efficiency of growing oil flax in modern conditions. Young scientist. 2017. № 1 (135). Pp. 281-284.
13. Magaramov B. G. et al. Agrobiological Foundations of Plant Production. Makhachkala: DagGAU named after M. M. Dzhambulatov, 2024. 152 p.
14. Bessonova E. V. Offensive of phases of development of basic agricultural crops on the territory of the USSR. Geographical collection. Issues of phenology. Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1957. V. 9. Pp. 34-65.
15. Laboratory work on crop production. Biological foundations of agriculture. Tomsk, TSPU Publ., 2019. V. 1. 242 p.
16. Buryakov Yu. P., Ivanovsky V. K., Osipov P. F. Olive Flax. Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 1971. 110 p.
17. Bushnev A. S., Luchkina T. N., Orekhov G. I. Realization of the genetic potential of seed productivity of new varieties of oilseed flax taking into account modern resource-saving technologies of the Southern Federal District. Oilseeds. 2020. № 3. Pp. 84-91.
18. Vasina N. V. Plant Production: Methodological Instructions. Samara: SamGAU, 2019. 36 p.
19. Vinogradov D. V., Egorova N. S., Polyakov A. V. Prospects for Flax Cultivation of the Sanlin Oil Variety in the Southern Part of the Non-Chernozem Zone of Russia. Soils of Azerbaijan: Genesis, Geography, Land Reclamation, Rational Use and Ecology: Materials of the International Scientific Conference. Baku-Gabala: NAS of Azerbaijan, 2012. Pp. 1025-1027.
20. Vinogradov D. V., Polyakov A. V., Kuntsevich A. A. Experimental substantiation of the technology of growing oil flax variety Sanlin. Vestnik RSATU. 2013. № 2 (18). Pp. 7-11.
21. Rysev M. N. et al. Influence of predecessors and concentration of fiber flax crops in crop rotation on yield and quality of flax products. Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy. 2019. № 2. Pp. 2-13.
22. Gataulina G. G., Bugaev P. D., Dolgovorov V. E. Plant Production. Moscow: INFRA-M, 2023. 608 p.
23. Bushnev A. S. et al. Soil Herbicides in the System of Protection of Oilseed Flax from Weeds in the South of Russia. Oilseeds. 2022. № 1 (189). Pp. 62-73.
24. Glukhikh M. A. Technologies for the production of plant products. St. Petersburg: Lan, 2023. 148 p.
25. Soil. Methods for determining humidity, maximum hygroscopic humidity and humidity of stable plant withering: GOST 28268-89.
26. Pesticides. State Catalog of Pesticides and Agrochemicals" approved for use on the territory of the Russian Federation. Moscow, 2022. V. 1.
27. Grodzinsky A. M., Grodzinsky D. M. Phases of flax growth. A Short Reference Book of Plant Physiology. Kiev: Naukova Dumka, 1964. 330 p.
28. Gushchina V. A., Lykova A. S. Commercial cultures. Penza: PSAU, 2018. 294 p.
29. Dolgov B. S., Semenova, Z. M., et al. Guidelines for conducting field experiments with fiber flax. Moscow, Kolos Publ., 1969. 40 p.
30. Dospekhov B. A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Alliance Publ., 2011. 352 p.
31. Dospekhov B. A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 351 p.
32. Dridiger V. K., Esaulko A. N., Dorozhko G. R. Oil flax in the Stavropol Territory: monograph. Stavropol: StGAU, 2013. 148 p.
33. Esipenko L. P. Prognosis in plant protection. Krasnodar: KubGAU, 2019. 202 p.
34. Ivanova T. E., Bortnik T. Yu., Lekomtseva E. V. Methods of Experience. Izhevsk, UdGAU Publ., 2020. 175 p.
35. Il'ina A. I. Influence of external conditions on the passage of the light stage of oilseed flax and the formation of generative organs. Brief report (VNIIMK) on research for 1950. Krasnodar, 1951. Pp. 163-168.
36. Kachinsky N. A. Soil Physics. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1970. 358 p.
37. Kolomeychenko V. V. Field and garden cultures of Russia. Legumes and Oilseeds: Monograph. St. Petersburg: Lan, 2022. 520 p.
38. Konieva G. N., Batyrov V. A., Dzhirgalova E. A. Biological Features of Oil Crops. Elista: KSU, 2022. 85 p.
39. Kuntsevich A. A., Vinogradov D. V., Egorova N. S. Use of herbicides in oil flax crops. Scientific and Practical Aspects of Oilseed Cultivation and Processing Technologies: Materials of the International Scientific Conference. Ryazan, 2013. Pp. 188-190.
40. Bekmukhamedov E. L. et al. Medicinal flora of Kazakhstan. Astana: KazATU, 2022. 368 p.
41. Egorova G. S. et al. Medicinal and essential oil plants. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2022. 136 p.
42. Minkevich I. A. Oil flax. Moscow, Selkhozgiz Publ., 1957. 179 p.
43. Mukha V. D., Mukha D. V., Achkasov A. L. Practicum on agronomic soil science. St. Petersburg: Lan, 2022. 480 p.
44. Nosevich M. A., Abushinova E. V. Influence of the level of mineral nutrition on the yield, accumulation and composition of oil seeds of oil flax seeds in the conditions of the Leningrad region. Oilseeds. 2017. № 2 (170). Pp. 64-69.
45. Nosevich M. A. Use of Organomineral Fertilizer Lignohumate in the Technology of Oil Flax Cultivation (linum usitatissimuml.). Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2023. № 2 (71). Pp. 20-31.
46. Kamenov R. A. et al. Optimization of Oilseed Nutrition in Organic Agriculture: Monograph. Persianovsky: Donskoy GAU, 2022. 238 p.
47. Petrova A. A., Smirnova T. I. Influence of feeding with chelated compounds on the general productivity and oil content of fiber flax seeds. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. № 1. Pp. 65-71.
48. Naumkin V. N. et al. Food and medicinal properties of cultivated plants. St. Petersburg: Lan, 2022. 400 p.
49. Podlipnaya A. A., Vinogradov D. V. Yield of oil flax depending on fertilizer doses in the non-chernozem zone. Proceedings of the Dagestan State Agrarian University. 2023. № 19. Pp. 48-55.

50. Grishin P. N. et al. Soils of the Saratov region. Saratov: Vavilov University, 2023. 362 p.
51. Ivanov V. M. et al. Practicum on Plant Production. Volgograd: VolGAU, 2022. 388 p.
52. Fedotov V. A. et al. Plant Production. St. Petersburg: Lan, 2023. 328 p.
53. Posypanov G. S. et al. Plant Production. Moscow, Kolos Publ., 2006. Pp. 458-462.
54. Fursova A. K. et al. Technical and fodder crops. Crop. St. Petersburg: Lan, 2022. V. 2. 384 p.
55. Ryzheeva O. I. Oil flax. Guidelines for Selection and Seed Production of Oilseeds. Moscow, Kolos Publ., 1967. Pp. 121-172.
56. Savelyev V. A. Plant Production. St. Petersburg: Lan, 2021. 316 p.
57. Safonov M. D. Selection and seed production of oil flax. Scientific report of the Voronezh Experimental Station of Oilseeds. Voronezh, 1952. Pp. 116-145.
58. Bondarev I., Popirlan G., Nicolae H., Sin.Gh. Efectul unor masuri agrofitehnice asupra productiei de seminte, ulei si fibre la inul pentru ulei si mixt. Analele Institutului de cercetari pentru cereale si plante tehnice. Fundulea. 1979. Vol. 44. Pp. 269-276.
59. Kumar A. Agro-technology for linseed production. Indian Farmer's Digest. 1989. Vol. 22. № 9. Pp. 7-9.
60. Daun J., Barthet V., Chornick T., Duguid S. Structure, composition, and variety development of flaxseed. dans: Flaxseed in Human Nutrition. Champaign, Illinois, 2003.

Информация об авторах

Синдюкова Виктория Александровна, соискатель, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект Петра Столыпина, 4/3), e-mail: viktorija.gnevsheva@yandex.ru

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Денисов Константин Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной работе, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект Петра Столыпина, 4/3), e-mail: k.denisov@indox.ru

Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26).

Authors' Information

Sindyukova Victoria Aleksandrovna, applicant, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: viktorija.gnevsheva@yandex.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Denisov Konstantin Evgenievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: k.denisov@indox.ru

Gorbacheva Anna Semenovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

**ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ /
ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE**

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-26

**THE EFFECT OF NATURAL DIETARY FIBERS ON THE QUALITY OF COOKED SAUSAGES
OF FUNCTIONAL ORIENTATION**^{1,2}Gorlov I. F., ¹Skachkov D. A., ¹Bozhkova S. E., ¹Borokhvostova M. A.¹Volgograd State Technical University²Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 03.03.2025

Submitted 17.04.2025

Abstract

Introduction. The development of functional meat products is an important direction in the food industry, providing social and practical significance. New generation products enriched with functional components are being created due to the development of the food additives and technology industry. Dietary fiber is one of the components identified as potentially beneficial functional ingredients for human health. **Materials and methods.** The research was carried out in the laboratory of the Department of Food Production Technology of VolgGTU. Selection and preparation of samples for laboratory studies were carried out according to a uniform methodology in accordance with the requirements of GOST R 51447-99 (ISO 3100-1-91). Production and research of control and experimental samples were carried out according to the generally accepted methods in accordance with the current regulatory and technical documentation of the food industry. **Results and conclusion.** The study showed that to enrich cooked sausages with dietary fiber, vitamins B1, PP and minerals (phosphorus, copper, silicon and calcium) and create a functional product, it is advisable to use the following plant ingredients in the recipe in appropriate dosages: carrageenan (0.5 kg / 100 kg of unsalted raw material), sesame seeds (7.5 kg / 100 kg of unsalted raw material), apple pectin (1.5 kg / 100 kg of unsalted raw material) and corn bran (3.5 kg / 100 kg of unsalted raw material). This improves the organoleptic and functional-technological properties of the product.

Keywords: dietary fiber, apple pectin, corn bran, sesame seeds, carrageenan, boiled sausages.**Citation.** Gorlov I. F., Skachkov D. A., Bozhkova S. E., Borokhvostova M. A. The effect of natural dietary fibers on the quality of cooked sausages of functional orientation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 237-248 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-26.**Author's contribution.** All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

УДК 637.524.24

**ВЛИЯНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН НА КАЧЕСТВО ВАРЕННЫХ КОЛБАС
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**^{1,2}Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН¹Скачков Д. А., кандидат биологических наук, доцент¹Божкова С. Е., кандидат биологических наук, доцент¹Борохвостова М. А., магистрант¹ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»²ФБГНУ Поволжский НИИ мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Разработка функциональных мясных продуктов – важное направление в пищевой промышленности, обеспечивающее социальную и практическую значимость. Продукты нового поколения, обогащенные функциональными компонентами, создаются благодаря развитию индустрии пищевых добавок и технологий. Пищевые волокна являются одним из компонентов, которые идентифицируют как потенциально полезные функциональные ингредиенты для здоровья человека. **Материалы и методы.** Исследования проводились на кафедре ТПП ВолгГТУ. Выработку образцов вареных колбас (контрольной и опытных партий) проводили в соответствии с действующей технологической инструкцией на производство вареных колбасных изделий. Отбор исследуемых образцов и подготовка проб проводилась по ГОСТ Р 51447-99 (ISO 3100-1-91). Исследования по

оценке качества проводили согласно аттестованным методикам. **Результаты и выводы.** Исследование показало, что для обогащения вареных колбасных изделий пищевыми волокнами, витаминами В₁, РР и минеральными веществами (фосфором, медью, кремнием и кальцием) и создания функционального продукта в рецептуре целесообразно использовать следующие растительные ингредиенты с соответствующими дозировками: каррагинан (0,5 кг / 100 кг несоленого сырья), семена кунжута (7,5 кг / 100 кг несоленого сырья), яблочный пектин (1,5 кг / 100 кг несоленого сырья) и кукурузные отруби (3,5 кг / 100 кг несоленого сырья). При этом улучшаются органолептические и функционально-технологические свойства продукта.

Ключевые слова: вареные колбасы, пищевые волокна, яблочный пектин, кукурузные отруби, семена кунжута, каррагинан.

Цитирование. Горлов И. Ф., Скачков Д. А., Божкова С. Е., Борохвостова М. А. Влияние натуральных пищевых волокон на качество вареных колбас функциональной направленности. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 237-248. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-26.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В России колбасные изделия имеют высокую социальную значимость, занимая значительное место в структуре повседневного потребления. И как мясной продукт должен входить в рацион и обеспечивать нормальную жизнедеятельность организма, снабжая его необходимыми питательными веществами [1].

С целью обновления ассортимента продукции некоторые предприятия акцентируют внимание не только на улучшении качественных характеристик, но и на снижении себестоимости изделий. Это может осуществляться за счет замены дорогостоящего мясного сырья на более низкосортное, что ведет к уменьшению пищевой и биологической ценности. Также мясное сырье не является источником пищевых волокон, имеющих большую важность для нормальной жизнедеятельности организма. Следует отметить, что добавление в рецептуру мясных изделий растительных ингредиентов, богатых пищевыми волокнами, является одним из перспективных направлений разработки функциональных продуктов [2, 3, 4, 5].

Оптимизация технологии производства и рецептуры состоит в том, чтобы ввести в фарш растительные компоненты – пищевые волокна, в частности семена кунжута, каррагинан, яблочный пектин и кукурузные отруби. Все вышеперечисленные ингредиенты имеют высокое содержание пищевых волокон, поэтому относятся к их источникам, рисунок 1.

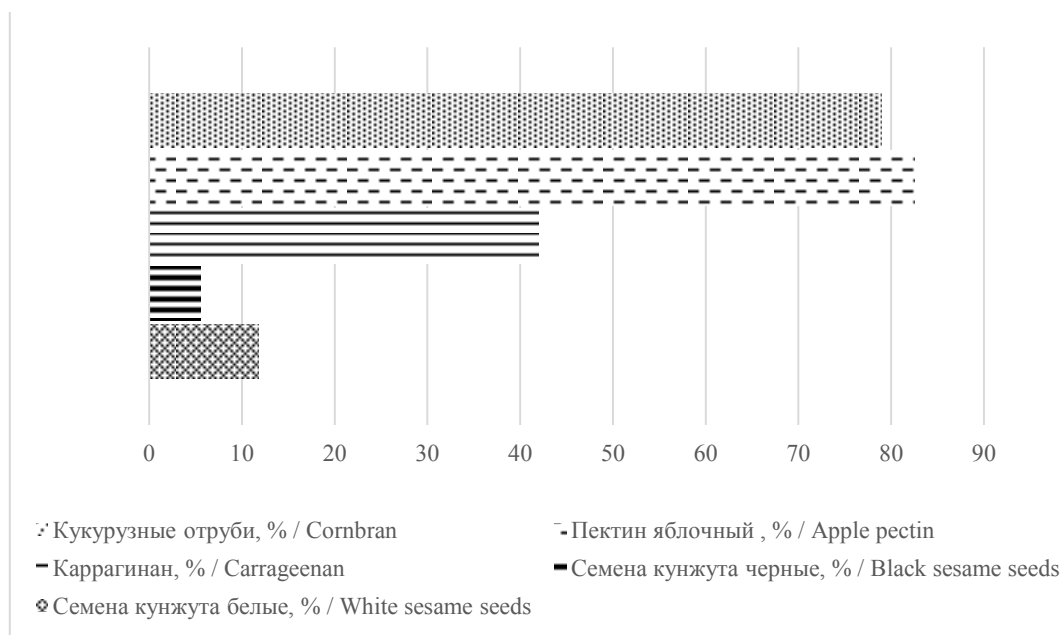


Рисунок 1 – Содержание пищевых волокон во вносимых компонентах
Figure 1 – The content of dietary fiber in the added components

К пищевым волокнам относят полисахариды (целлюлоза, гемицеллюлоза, пектины), олигосахариды, лигнин и ассоциированные растительные вещества. Они являются структурными компонентами растительных клеток и не расщепляются в пищеварительном тракте человека [8].

Пищевые волокна, не являясь источником незаменимых нутриентов, играют ключевую роль в поддержании здоровья пищеварительной системы и благополучия организма в целом [6, 7]. Различные виды пищевых волокон обладают разнообразными функциями. Пектин является растворимым пребиотиком, способствующим росту полезных микроорганизмов в кишечном тракте. Кроме того, он обладает различными биологическими свойствами, такими как антиоксидантное, антигликозилирующее, антикоагулянтное, противовоспалительное, а также снижает уровень холестерина в сыворотке крови и активизирует иммунный ответ. Благодаря своим высококачественным желирующим и стабилизирующим свойствам, пектин используется в качестве загустителя, стабилизатора и эмульгатора [9, 10].

Кукурузные отруби, помимо того что являются источником клетчатки, содержат белки, жиры, витамины и минеральные вещества [11].

Использование в рецептуре семян кунжута обусловлено тем, что они имеют высокую пищевую ценность и являются источником ПНЖК, кальция и незаменимых аминокислот (триптофан, метионин и валин). Кроме того, они содержат и другие биологически активные компоненты важные для здоровья человека: витамины, фенолы, фитостеролы [12].

Каррагинан, как и пектин, используется в качестве стабилизатора и эмульгатора благодаря своей гидрофильной характеристике, с помощью которой он может связывать воду и стабилизировать эмульсию. Биологический потенциал каррагинана состоит в том, что он обладает антикоагулянтными, антитромботическими, противовирусными и антиоксидантными свойствами [13].

С учетом этого, вареные колбасные изделия рассматриваются как перспективная основа для разработки функциональных продуктов по содержанию белка, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ [2].

Известны примеры, где с целью обогащения мясных систем и улучшения их функционально-технологических свойств в рецептуру вносили растительные ингредиенты. В работе Титова Е. И., Соколова А. Ю. и др. [14] было изучено влияние пищевых волокон на функционально-технологические свойства мясных систем. В опытные образцы мясных полуфабрикатов рубленых вносились псиллиум, пшеничные, картофельные и овсяные волокна. Результаты показали улучшение органолептических свойств, а именно сочности и консистенции, также увеличение влагосвязывающей способности у опытных образцов мясных полуфабрикатов.

Цели и задачи. Целью данного исследования является исследование влияния использования натуральных пищевых волокон (семян кунжута, каррагинана, яблочного пектина и кукурузных волокон) в рецептурах вареных колбасных изделий функциональной направленности на качество готовых продуктов. Вареные колбасы должны содержать достаточное количество пищевых волокон, витаминов и минералов, обеспечивающих суточную потребность организма человека, также иметь хорошие органолептические показатели и функционально-технологические свойства.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- обоснования выбора ингредиентного состава;
- разработка рецептуры с подбором дозировки ингредиентов;
- выработка опытных образцов;
- органолептическая оценка;
- исследование функционально-технологических свойств;
- анализ физико-химических показателей;
- оценка обеспеченности функциональными нутриентами.

Материалы и методы. Исследование проводилось на кафедре «Технология пищевых производств» ВолгГТУ. Этапы проведения исследования отражены в виде блок-схемы на рисунке 2.

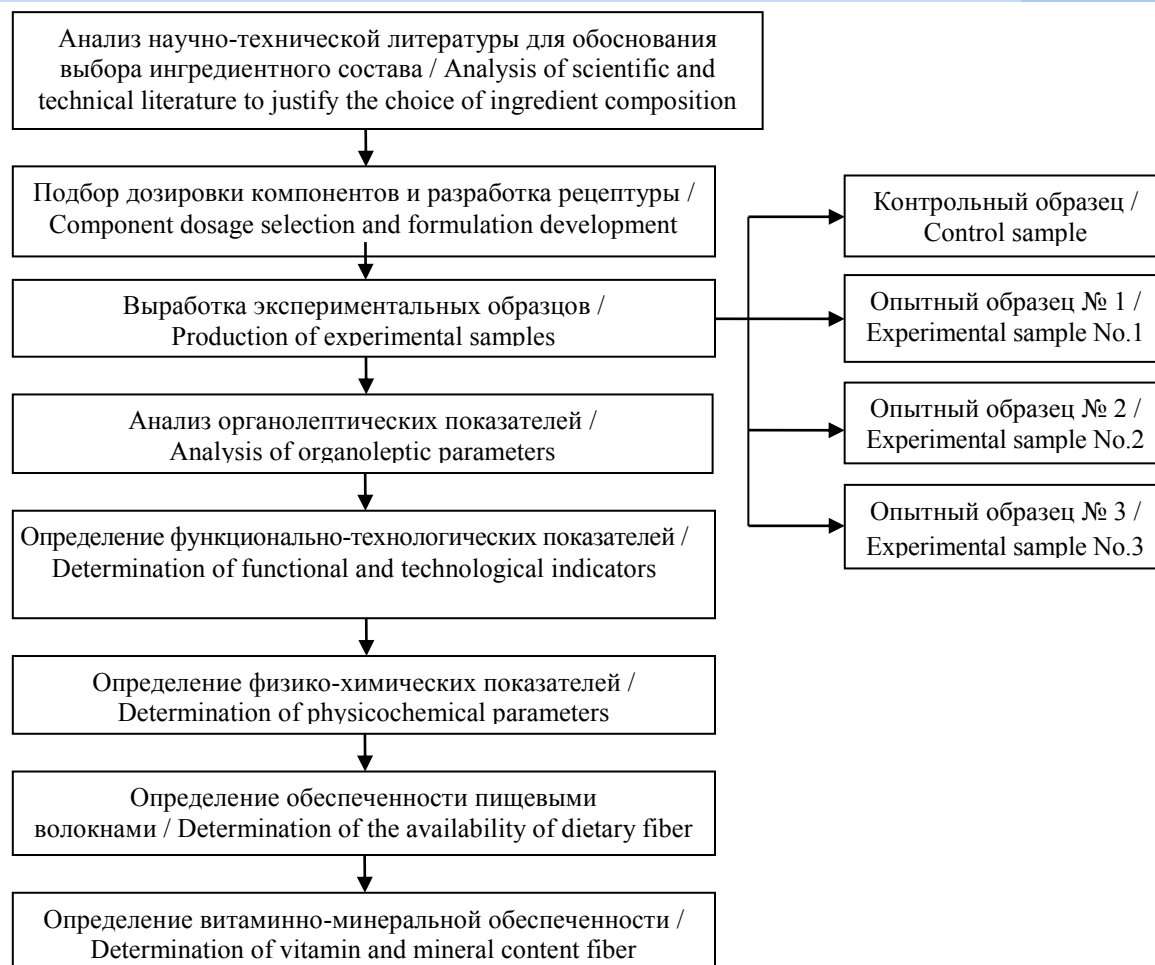


Рисунок 2 – Блок-схема экспериментального исследования
Figure 2 – Block-diagram of an experimental study

Исследования проводили в три этапа.

Первый этап – анализ научно-технической литературы и обоснование выбора ингредиентного состава

Семена кунжута были выбраны для повышения пищевой и биологической ценности мясного продукта, в результате предварительной органолептической оценки образцов с содержанием кунжута 5,0, 7,5 и 10 кг на 100 кг несоленого сырья. Оптимальное соотношение семян составило 7,5 кг/100 кг несоленого сырья. Такое решение было принято не только ввиду лучшей органолептической оценки, но и за достижение функциональности (согласно ГОСТ Р 55577-2013) по фосфору, кремнию, меди, витаминам РР и В₁, а также мясной продукт становится источником кальция. Добавление в рецептуру не одного вида кунжута, а смеси из белых и черных семян обусловлено тем, что такое сочетание имеет более гармоничный и выразительный вкус и запах. Черные семена придают более пряный и насыщенный вкус, чем белые семена. Поэтому было принято решение добавлять одинаковое количество смеси семян кунжута в опытные образцы № 1, 2 и 3.

Выбор каррагинана обоснован включением семян кунжута в фарш, которое привело к тому, что некоторое количество семян на срезе осыпалось и консистенция становилась более рыхлой. Введение каррагинана в дозе 0,5 кг/100 кг несоленого сырья (в предварительных экспериментах) как гелеобразователя улучшило консистенцию и предотвратило осыпание семян.

Для достижения функциональности колбасного изделия по пищевым волокнам было принято решение включить в рецептуру кукурузные отруби, так как добавление в колбасный фарш в качестве источника пищевых волокон исключительно яблочного пектина (более 3 кг/100 кг несоленого сырья) отрицательно влияет на органолептические характеристики готового продукта.

Опытные образцы № 1 и 2 содержат разное соотношение компонентов (яблочный пектин и кукурузные отруби) с целью выявления оптимальной рецептуры, по органолептической оценке, анализу ФТС фарша и оценке обеспеченности пищевыми волокнами.

Семена кунжута и каррагинан также содержат в своем составе пищевые волокна и поэтому могут рассматриваться как их источники.

Второй этап – подбор дозировки компонентов и разработка рецептуры и выработка экспериментальных образцов.

Для экспериментальной выработки образцов вареных колбасных изделий разработана рецептура с компонентами растительного происхождения, которые вносятся на стадии куттерования традиционной технологии их производства.

Выработка экспериментальных образцов вареных колбас. В лабораторных условиях вырабатывали четыре образца вареных колбас (таблица 1).

Контрольный образец вырабатывался по традиционной технологии согласно рецептуре колбасы вареной докторской высшего сорта (справочник технолога колбасного производства Рогов И. А. и др., 1993) без добавления растительных компонентов.

Опытный образец № 1 вырабатывался по рецептуре аналогичной контрольному образцу с добавлением в рецептуру (на 100 кг несоленого сырья) растительных компонентов: смесь из черных и белых семян кунжута (7,5 кг), каррагинан (0,5 кг) и яблочный пектин (3,5 кг).

Опытный образец № 2 вырабатывался по рецептуре аналогичной опытному образцу № 1 с добавлением в рецептуру (на 100 кг несоленого сырья) яблочного пектина (2,5 кг) и кукурузных отрубей (2,5 кг).

Опытный образец № 3 вырабатывался по рецептуре аналогичной опытному образцу № 2 с добавлением в рецептуру (на 100 кг несоленого сырья) другого соотношения яблочного пектина (1,5 кг) и кукурузных отрубей (3,5 кг).

Третий этап – анализ функционально-технологических показателей мясных систем и показателей качества готовых продуктов.

Органолептические показатели исследуемых образцов определяли по ГОСТ 9959-2015 «Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки». Образцы оценивались по 5-балльной шкале дегустационной комиссией из 5 экспертов. Итоговая оценка образцов определялась суммированием оценок по каждому показателю (максимальное количество 25 баллов).

Качество мясного сырья с технологической точки зрения принято оценивать по функционально-технологическим свойствам. К основным из них относят: влагосвязывающую (ВСС, %), влагоудерживающую (ВУС, %) и жирудерживающую (ЖУС, %) способности, а также эмульгирующую способность (СЭ, %) (Антипова Л. В. и др., 2001).

ВСС определяли методом прессования. ВУС оценивали по разности между содержанием влаги в фарше до и отделившейся после термической обработки. ЖУС мясного фарша определялась по соотношению содержания жира в фарше до и отделившимся после термической обработки. СЭ мясной системы определяли по отношению общего объема эмульсии к объему эмульгированного жира (Антипова Л. В. и др., 2001).

Определение физико-химических показателей:

– массовая доля влаги определялась по ГОСТ 33319-2015 «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги»;

– определение массовой доли белка – методом Кельдаля по ГОСТ 25011-2017 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка»;

– определение массовой доли жира – методом Сокслета по ГОСТ 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира».

Выход готовых изделий определяли по разности между массой образцов до тепловой обработки и массой готовых кулинарных изделий после термообработки.

Расчет обеспеченности пищевыми волокнами проводился с целью оценить функциональность растительных компонентов рецептуры продукта, по норме потребности в них определенной ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки».

Расчет обеспеченности витаминно-минеральной обеспеченности проводился с целью оценить функциональность растительных компонентов рецептуры продукта, по норме потребности в витаминах и минеральных веществах определенной ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки».

Результаты и обсуждение. Производство опытных образцов вареных колбас, в том числе с добавлением растительных компонентов, включало предварительное измельчение мясного сырья, его посол, гидратацию кукурузных отрубей, куттерование, формование, осадку, варку, охлаждение. Добавление растительных компонентов происходило на стадии куттерования.

Процесс приготовления фарша включал две последовательные стадии. На первой стадии обрабатывали нежирное сырье говядину высшего сорта, добавляя меланж яичный и сухое молоко в течение 5-7 минут. Оптимальная температура сырья на первой стадии обработки не должна превышать 5 °С.

На второй стадии обработки вводили полужирную свинину и обрабатывали в течение 3-5 минут, постепенно добавляя воду, сахар, каррагинан, соль пищевую, нитритную соль, специи и пряности, семена кунжута, пектин и гидратированные кукурузные отруби. Пектин и каррагинан вносили в сухом виде, кукурузные отруби перед внесением в фарш предварительно гидратировали в течение часа. Соотношение отрубей к воде составляло 1,0:2,5, температура воды около 20 °С. Температура готового фарша не должна превышать 12 °С.

Далее происходило наполнение оболочки фаршем и вязка батонов шпагатом. Варку колбасы осуществляли в предварительно нагретой до 60 °С воде до достижения в центре изделия 72 °С. Далее колбасу охлаждали в холодной воде в течение 30 мин. до достижения в центре изделия 8 °С.

Рецептуры опытных образцов представлены в таблице 1.

Для выбора оптимальной рецептуры вареных колбасных изделий проводили оценку опытных образцов по органолептическим, функционально-технологическим показателями физико-химическим, а также оценивали их функциональность по обогащающим нутриентам.

Таблица 1 – Рецептуры экспериментальных образцов
Table 1 – Recipes of experimental samples

Наименование сырья, материалов, пряностей / Name of raw materials, materials, spices	Контрольный образец / Control sample	Опытный образец № 1 / Experimental sample No.1	Опытный образец № 2 / Experimental sample No.2	Опытный образец № 3 / Experimental sample No.3
Говядина высшего сорта / Beef of the highest grade	25,0	25,0	25,0	25,0
Свинина полужирная / Semi-fatted pork	70,0	70,0	70,0	70,0
Меланж / Melange	3,0	3,0	3,0	3,0
Молоко сухое / Milk powder	2,0	2,0	2,0	2,0
Итого несоленого сырья / Total unsalted raw materials	100,0	100,0	100,0	100,0
Смесь из черных и белых семян / A blend of black and white seeds	-	7,5	7,5	7,5
Каррагинан / Carrageenan	-	0,5	0,5	0,5
Пектин яблочный / Apple pectin	-	3,5	2,5	1,5
Кукурузные отруби / Corn bran	-	-	2,5	3,5
Вода / Water	18	21,5	23	24
Соль пищевая / Food salt	1,1	1,1	1,1	1,1
Нитритная соль / Nitrite salt	1,0	1,0	1,0	1,0
Сахар-песок / Sand sugar	0,2	0,2	0,2	0,2
Орех мускатный / Nutmeg	0,3	0,3	0,3	0,3
Перец чёрный молотый / Ground black pepper	0,2	0,2	0,2	0,2
Чеснок сушеный / Dried garlic	0,2	0,2	0,2	0,2
Итого сырья, пряностей, материалов / Total raw materials, spices, supplies	121,0	136,0	139,0	140,0

Результаты оценки исследуемых образцов вареных колбас по органолептическим показателям отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Органолептические показатели вареных колбас
Table 2 – Organoleptic parameters of boiled sausages

Характеристика / Characteristic	Наименование образца / Sample name			
	Контрольный образец / Control sample	Опытный образец № 1 / Experimental sample No.1	Опытный образец № 2 / Experimental sample No.2	Опытный образец № 3 / Experimental sample No.3
Внешний вид / Appearance	ровная, чистая, сухая поверхность / flat, clean, dry surface	неровная, сухая поверхность / rough, dry surface	местами неровная, чистая, сухая поверхность / rough, clean, dry in places surface	ровная, чистая, сухая поверхность / flat, clean, dry surface
Баллы / Scores	5,0	3,0	4,5	5,0
Консистенция / Consistency	упругая / elastic	рыхлая / loose	упругая, резинистая / elastic, rubbery	упругая, плотная / elastic, dense
Баллы / Scores	4,5	2,5	4,0	5,0
Запах / Smell	свойственный данному виду продукта / characteristic to this type of product	несвойственный данному виду продукта, присутствует незначительный запах яблочного пектина / uncharacteristic for this type of product, slight odor of apple pectin is present	свойственный данному виду продукта, присутствует пряный, ореховый запах семян кунжута и приятный хлебный запах кукурузных отрубей / characteristic of this type of product, there is a spicy, nutty smell of sesame seeds and a pleasant bread smell of corn bran	свойственный данному виду продукта, присутствует пряный, ореховый запах семян кунжута и приятный хлебный запах кукурузных отрубей / characteristic of this type of product, there is a spicy, nutty smell of sesame seeds and a pleasant bread smell of corn bran
Баллы / Scores	5,0	3,5	5,0	5,0
Вкус / Taste	свойственный данному виду продукта, в меру соленый / characteristic to this type of product, moderately salty	несвойственный данному виду продукта мало-приятный вкус, привкус кунжута менее ощутим, в меру соленый / uncharacteristic for this type of product unpleasant flavor, sesame flavor less perceptible, moderately salty	ощутимый привкус кунжута и кукурузных отрубей, в меру соленый / noticeable flavor of sesame and corn bran, moderately salty	ощутимый привкус кунжута и более выраженный привкус кукурузных отрубей, в меру соленый / noticeable sesame flavor and more pronounced corn bran flavor, moderately salty
Баллы / Scores	5,0	3,0	5,0	5,0
Цвет и вид на разрезе / Color and cut view	розово-бежевый цвет, фарш равномерно перемешан / pink-beige color, minced meat is evenly mixed	розово-бежевый цвет, неровный разрез, фарш содержит включения – семена кунжута / pink-beige color, uneven cut, minced meat contains inclusions – sesame seeds	розово-бежевый цвет, фарш равномерно перемешан, содержит включения – семена кунжута и кукурузные отруби / pink-beige color, minced meat is evenly mixed, contains inclusions – sesame seeds and corn bran	розово-бежевый цвет, фарш равномерно перемешан, содержит включения – семена кунжута и кукурузные отруби / pink-beige color, minced meat is evenly mixed, contains inclusions – sesame seeds and corn bran
Баллы / Scores	5,0	3,0	4,5	5,0
Итого / Total	24,5	15,0	23,0	25,0

Согласно приведенным данным из таблицы 3 видно, что контрольный образец и опытный образец № 3 получили максимальное количество баллов – 24,5 и 25,0 балла соответственно. Опытный образец № 3 имеет более плотную консистенцию по сравнению с контрольным образцом. Немного меньшую оценку – 23 балла, получил опытный образец № 2, из-за худшей консистенции он имел резинистую консистенцию.

Графически результаты органолептической оценки представлены в виде профилограммы на рисунке 3.

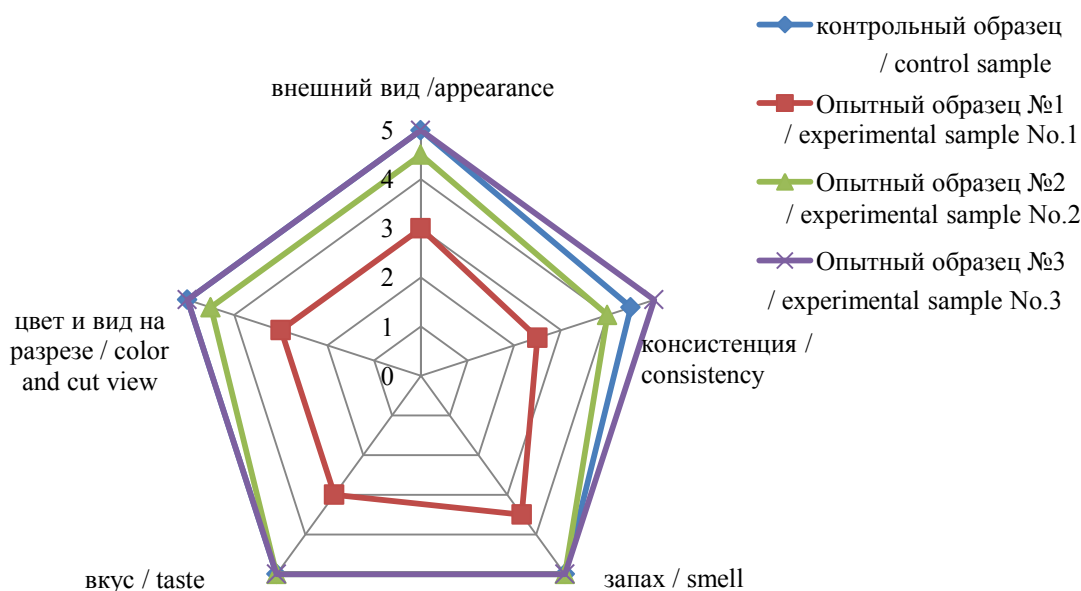


Рисунок 3 – Профилограмма органолептических показателей опытных образцов
Figure 3 – Profilogram of organoleptic parameters of samples

Из данных профилограммы хорошо видно, что образцом, набравшим наименьшую оценку в количестве 15 баллов оказался опытный образец № 1 с содержанием пектина 3,5 кг/100 кг несоленого сырья. В этой связи можно предположить, что использование в рецептуре для обогащения вареных колбасных изделий пищевыми волокнами пектина свыше 3,0 кг/100 кг несоленого сырья недопустимо, так как резко ухудшаются органолептические свойства готового продукта. Поэтому в дальнейших исследованиях образец № 1 участия не принимал.

Известно, что значительное влияние на качество готового продукта, особенно на его консистенцию, сочность и выход готовых изделий, оказывают функционально-технологические свойства, а конкретно влагосвязывающая и влагоудерживающая способности [15].

Далее определяли функционально-технологические характеристики колбасных фаршей исследуемых образцов для оценки влияния добавляемых растительных ингредиентов на качество вареных колбас, таблица 3.

Таблица 3 – Результаты определения ФТС мясных систем
Table 3 – Experimental data for determining the FCS of meat systems

Наименование образца / Sample Name	ВСС, % / Moisture binding ability, %	ВУС, % / Moisture retention capacity, %	ЖУС, % / Fat- holding capacity, %	СЭ, % / Emulsion stability, %
Контрольный образец / Control sample	76,2±0,02	76,3±0,05	81,2±0,16	77,4±0,13
Опытный образец № 2 / Experimental sample No.2	83,6±0,12	84,7±0,10	85,4±0,12	82,1±0,14
Опытный образец № 3 / Experimental sample No.3	85,7±0,23	86,7±0,28	87,5±0,14	83,3±0,12

Из данных таблицы 3 следует, что опытные образцы № 2 и 3 по всем функционально-технологическим свойствам лучше контрольного образца. Так, у опытных образцов № 2 и 3 соответственно выше, чем у контрольного значения: влагосвязывающей способности (ВСС) на 7,4 и 9,5 %; влагоудерживающей (ВУС) на 8,4 и 10,4 %; жирудерживающей (ЖУС) на 4,2 и 6,3 %, а стабильность эмульсии на 4,7 и 5,9 %.

На наш взгляд, полученные данные обусловлены внесением в фарш растительных ингредиентов, а именно кукурузных отрубей, яблочного пектина и каррагинана, а также формы внесения кукурузных отрубей. Следует отметить, что яблочный пектин и каррагинан изначально обладают эмульгирующими и стабилизирующими свойствами. Внесение кукурузных отрубей в гидратированном виде способствовало увеличению влагоудерживающей, жирудерживающей способности и стабильности эмульсии фарша. Лучшая жирудерживающая способность и стабильность эмульсии у опытных образцов № 2 и 3 говорят о более высокой стабильности и равномерности распределения жира в готовом продукте.

Таким образом, полученные данные говорят о положительном влиянии на органолептические показатели готового продукта и его сочность введения в рецептуру колбасного фарша пищевых волокон в виде яблочного пектина, кукурузных отрубей и каррагинана, улучшающих его функционально-технологические свойства.

Для анализа влияния растительных компонентов на потребительские свойства продукта также определяли физико-химические показатели исследуемых образцов, результаты отражены в таблице 4.

Таблица 4 – Физико-химические показатели исследуемых образцов
Table 4 – Physical and chemical parameters of the samples

Показатель / Indicator	Контрольный образец / Control sample	Опытный образец № 2 / Experimental sample No. 2	Опытный образец № 3 / Experimental sample No. 3
Массовая доля влаги, % / Mass fraction of moisture, %	61,3±0,18	64,7±0,17	65,5±0,21
Массовая доля белка, % / Protein mass fraction, %	13,1±0,01	15,1±0,04	15,2±0,04
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	16,2±0,03	18,4±0,05	18,4±0,06
Выход, % / Yield, %	121,0	139,0	140,0

Полученные данные, таблица 4, свидетельствуют, что массовая доля влаги у опытных образцов возросла на 3,45-4,22 %, из-за внесения в фарш гидратированных кукурузных отрубей. Массовая доля белка у опытных образцов по сравнению с контрольным выросла более чем на 2 %. Массовая доля жира у опытных образцов увеличивается на 2,21-2,22 % по сравнению с контрольным образцом за счет внесения семян кунжута. Опытные образцы № 2 и 3 превосходят по выходу контрольный образец на 18 и 19 % соответственно. Это обусловлено увеличением влагосвязывающей и влагоудерживающей способностями, позволяющей сократить потери влаги при термической обработке, что и ведет к повышению выхода продукта.

Также нами произведен расчет суточной обеспеченности пищевыми волокнами опытных образцов, результаты отражены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет обеспеченности пищевыми волокнами исследуемых образцов
Table 5 – Calculation of dietary fiber availability of samples

Пищевые волокна / Dietary fiber	Суточная потребность, мг/сут. / Daily requirement, mg / day	Содержание в 100 г продукта, мг / Content in 100 g of product, mg	Удовлетворение суточной потребности, % / Satisfaction of daily requirement, % в расчёте на 100 г продукта / per 100 g of product
Контрольный образец / Control sample	30	-	-
Опытный образец № 2 / Experimental sample No.2		4,90	16,3
Опытный образец № 3 / Experimental sample No.3		4,86	16,2

Исходя из полученных данных можно отметить, что у опытных образцов № 2 и № 3 содержание пищевых волокон составляет 16,3-16,2 % от суточной потребности в расчете на 100 граммов продукта. В связи с этим образцы № 2 и № 3 являются функциональными по содержанию пищевых волокон (содержание нутриента более 15 % от уровня рекомендуемого суточного потребления).

Также произвели расчет обеспеченности витаминной и минеральной обеспеченности у лучшего по результатам экспериментов опытного образца №3, результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет витаминной и минеральной обеспеченности образца № 3

Table 6 – Calculation of vitamin and mineral availability of sample No.3

Показатель / Indicator	Суточная потребность, мг/сут. / Daily requirement, mg /day	Содержание в 100 г продукта, мг / Content in 100 g of product, mg	Удовлетворение суточной потребности, % / Satisfaction of daily requirement, %
			в расчёте на 100 г продукта / per 100 g of product
Кальций / Calcium	1000	114,06	11,4
Кремний / Silicon	30	6,94	23,13
Фосфор / Phosphorus	700	214,82	30,68
Медь / Copper	1	0,20	20,0
Витамин В ₁ / Vitamin B ₁	1,5	0,28	18,43
Витамин PP / Vitamin PP	20	5,18	25,9

Анализируя данные, представленные в таблице 6, можно заключить, что опытный образец № 3 достигает функциональности по кремнию, фосфору, меди, витамину В₁, и витамину PP.

Следует отметить, что проведенные исследования (таблицы 5 и 6) доказали, что разработанный мясной продукт – вареные колбасы, согласно ТР ТС 022/2011 по изучаемым нутриентам является их источником (по содержанию кальция), а по остальным, в том числе пищевым волокнам, – продуктом с их высоким содержанием.

Заключение. Проведен анализ влияния использования натуральных пищевых волокон в рецептурах вареных колбасных изделий функциональной направленности на качество готовых продуктов. Определено оптимальное соотношение рецептурных ингредиентов вареных колбасных изделий путем введения ингредиентов растительного происхождения: семян кунжута, каррагинана, яблочного пектина и кукурузных отрубей. Путем анализа научно-технической литературы и подбора оптимального соотношения компонентов обосновали выбор ингредиентного состава.

Оптимальная рецептура определялась по результатам проведения органолептической оценки исследуемых образцов. Наибольшее количество баллов получил образец № 3 с добавлением яблочного пектина и кукурузных отрубей – 25,0 балла, он отметился лучшей консистенцией, чем контрольный образец, получивший 24,5 балла. Опытный образец № 1 без добавления кукурузных отрубей получил наименьшую оценку – 15,0 балла, из-за высокого содержания пектина в количестве 3,5 кг/100 кг несоленого сырья, негативно отразившегося на всех органолептических показателях.

Анализ функционально-технологических свойств образцов показал, что добавление в фарш яблочного пектина, каррагинана и гидратированных отрубей приводит к улучшению ФТС (влагосвязывающей, влагоудерживающей и жирудерживающей способности и стабильности эмульсии). Установлено, что лучшие функционально-технологические характеристики выявлены у опытного образца № 3 с содержанием яблочного пектина в количестве 1,5 кг/100 кг несоленого сырья и кукурузных отрубей в количестве 3,5 кг/100 кг несоленого сырья.

Благодаря внесению растительных компонентов у опытных образцов № 2 и № 3 заметно увеличился выход на 19,8 и 22,1 % соответственно, отмечалось возрастание массовой доли влаги, белка и жира.

Образцы № 2 и № 3 являются продуктами с высоким содержанием нутриентов, в том числе пищевых волокон, функциональной направленности, а также являются источниками кальция.

Таким образом, установлено, что использование растительных компонентов является актуальным при разработке вареных колбасных изделий с высокими потребительскими свойствами функциональной направленности.

Conclusions. Recipes of boiled sausage products have been developed by introducing ingredients of vegetable origin: sesame seeds, carrageenan, apple pectin and corn bran. By analyzing the scientific and technical literature and selecting the optimal ratio of components, the choice of the ingredient composition was justified.

To select the optimal formulation, an organoleptic evaluation of the control and experimental samples was carried out. Prototype No. 3 received the highest number of points – 25.0 points, it was noted for a better consistency than the control sample, which received 24.5 points. Prototype No. 1 received the lowest score – 15.0 points, due to the high pectin content in the amount of 3.5 kg/100 kg of unsalted raw materials, which negatively affected all organoleptic parameters.

Analysis of the functional and technological properties of the samples showed that the addition of apple pectin, carrageenan and hydrated bran to the minced meat leads to an improvement in the FCS (moisture-binding, moisture-retaining and fat-retaining properties and stability of the emulsion). It was found that the best functional and technological characteristics were found in prototype No. 3 with apple pectin content in the amount of 1.5 kg/100 kg of unsalted raw materials and corn bran in the amount of 3.5 kg/100 kg of unsalted raw materials.

Due to the introduction of plant components in prototypes No. 2 and No.3, the yield increased significantly by 19.8 and 22.1 %, respectively, and there was also an increase in the mass fraction of moisture, protein and fat.

Sample No. 2 and No.3 are functional in terms of dietary fiber, and sample No. 3 is functional in terms of silicon, phosphorus, copper, vitamin B1, vitamin PP, and is a source of calcium.

Thus, it has been established that the use of herbal components is relevant in the development of boiled sausage products of a functional orientation.

Библиографический список

1. Деркач Н. Е. Потенциал продвижения колбасных изделий на зарубежные рынки. Среднерусский вестник общественных наук. 2022. № 6. <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-prodvizheniya-kolbasnyh-izdeliy-na-zarubezhnye-rynki>
2. Пьяникова Э. А., Ковалева А. Е., Сидоров Е. Ю., Тараторина О. С. Влияние комплексной растительной добавки на качественные показатели мясного колбасного изделия. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2022. № 3. С. 66-75.
3. Галушина П. С. Применение пищевых волокон в производстве мясных продуктов. Тенденции развития науки и образования. 2023. № 103-7. С. 206-208.
4. Альшевская М. Н., Анистратова О. В., Баранаскас В. А. Совершенствование технологии производства цельнокусковых мясных продуктов из свинины с применением бамбуковых пищевых волокон. Известия КГТУ. 2021. № 63. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologii-proizvodstva-tselnokuskovyh-myasnyh-produktov-iz-svininy-s-primeneniem-bambukovyh-pischevyh-volokon>
5. Шишкина Д. И., Соколов А. Ю., Бордунова М. С., Звегинцева Е. Д., Клейн Е. Э. Современные тенденции и перспективы развития функциональных продуктов на основе мяса с добавлением пищевых волокон. Инновации и инвестиции. 2021. № 4. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-i-perspektivy-razvitiya-funktsionalnyh-produktov-na-osnove-myasa-s-dobavleniem-pischevyh-volokon>
6. Haque Abdul, et al. Fortification of conventional Buffalo meat sausage with ash gourd peel enhances shelf life, nutritional, functional and microstructural characteristics. NFS Journal. 2024. V. 35. 100179. 10.1016/j.nfs.2024.100179
7. Santos D., Lopes da Silva J. A., Pintado M. Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. LWT. 2022. V. 154. 112707.
8. Петрова А. С. и др. Исследование влияния пищевых волокон на показатели качества вареных колбасных изделий. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2020. № 1 (43). С. 67-73.
9. Shin Y., Chane A., Jung M., Lee Y. Recent advances in understanding the roles of pectin as an active participant in plant signaling networks. Plants. 2021. No 10 (8).
10. Shi C., Guo C., Wang S., Li W., Zhang X., Lu S., Ning C., Tan C. The mechanism of pectin in improving anthocyanin stability and the application progress of their complexes: A review. Food Chemistry: X. 2024. V. 24. P. 101955.
11. Подвалова В. В. и др. Влияние растительных компонентов на качество фарша на основе мяса птицы. Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 192-199.
12. Mostashari P., Khaneghah A. M. Sesame Seeds: A Nutrient-Rich Superfood. Foods. 2024. V. 13. No. 8. P. 1153.
13. Lomartire S., Gonçalves A. M. M. Novel Technologies for Seaweed Polysaccharides Extraction and Their Use in Food with Therapeutically Applications-A Review. Foods. 2022. No 11 (17). 2654.
14. Титов Е. И. и др. Влияние волокон пищевых на функционально-технологические свойства мясных систем. Все о мясе. 2021. № 4. С. 30-36.
15. Габдукаева Л. З., Решетник О. А. Проектирование рецептур мясорастительных полуфабрикатов повышенной пищевой ценности. Хранение и переработка сельхоз сырья. 2019. № 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-retseptur-myasorastitelynyh-polufabrikatov-povyshennoy-pischevoy-tsennosti>

References

1. Derkach N. E. Potential for the promotion of sausage products to foreign markets. Central Russian Bulletin of Social Sciences. 2022. № 6. <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-prodvizheniya-kolbasnyh-izdeliy-na-zarubezhnye-rynki>
2. Pyanikova E. A., Kovaleva A. E., Sidorov E. Yu., Taratorina O. S. Effect of a Complex Vegetable Additive on the Quality Indicators of Meat Sausage Products. Food and Processing Industry Technologies Agro-Industrial Complex - Healthy Food Products. 2022. № 3. Pp. 66-75.
3. Galushina P. S. Application of Food Fibers in the Production of Meat Products. Trends in the development of science and education. 2023. № 103-7. Pp. 206-208.
4. Alshevskaya M. N., Anistratova O. V., Baranauskas V. A. Improvement of the Technology of Production of Whole-Piece Meat Products from Pork Using Bamboo Dietary Fibers. Proceedings of KSTU. 2021. № 63. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologii-proizvodstva-tselnokuskovyh-myasnyh-produktov-iz-svininy-s-primeneniem-bambukovyh-pischevyh-voлок>
5. Shishkina D. I., Sokolov A. Yu., Bordunova M. S., Zvegintseva E. D., Klein E. E. Current Trends and Prospects for the Development of Meat-Based Functional Products with the Addition of Dietary Fibers. Innovations and investments. 2021. № 4. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-i-perspektivy-razvitiya-funktsionalnyh-produktov-na-osnove-myasa-s-dobavleniem-pischevyh-voлок>
6. Haque Abdul, et al. Fortification of conventional Buffalo meat sausage with ash gourd peel enhances shelf life, nutritional, functional and microstructural characteristics. NFS Journal. 2024. V. 35. 100179. 10.1016/j.nfs.2024.100179
7. Santos D., Lopes da Silva J. A., Pintado M. Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. LWT. 2022. V. 154. 112707.
8. Petrova A. S. et al. Study of the effect of dietary fiber on the quality indicators of cooked sausages. Scientific journal of NRU ITMO. Series: Processes and Apparatus of Food Production. 2020. № 1 (43). Pp. 67-73.
9. Shin Y., Chane A., Jung M., Lee Y. Recent advances in understanding the roles of pectin as an active participant in plant signaling networks. Plants. 2021. No 10 (8).
10. Shi C., Guo C., Wang S., Li W., Zhang X., Lu S., Ning C., Tan C. The mechanism of pectin in improving anthocyanin stability and the application progress of their complexes: A review. Food Chemistry: X. 2024. V. 24. P. 101955.
11. Podvalova V. V. et al. The influence of vegetable components on the quality of minced meat based on poultry meat. Vestnik KrasGAU. 2022. № 5. Pp. 192-199.
12. Mostashari P., Khaneghah A. M. Sesame Seeds: A Nutrient-Rich Superfood. Foods. 2024. V. 13. No. 8. P. 1153.
13. Lomartire S., Gonçalves A. M. M. Novel Technologies for Seaweed Polysaccharides Extraction and Their Use in Food with Therapeutically Applications-A Review. Foods. 2022. No 11 (17). 2654.
14. Titov E. I., et al. Influence of food fibers on the functional and technological properties of meat systems. All about meat. 2021. № 4. Pp. 30-36.
15. Gabdukaeva L. Z., Reshetnik O. A. Design of Formulations of Meat and Vegetable Semi-Finished Products of Increased Nutritional Value. Storage and processing of agricultural raw materials. 2019. № 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-retseptur-myasorastitelynyh-polufabrikatov-povyshennoy-pischevoy-tsennosti>.

Информация об авторах

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Скачков Дмитрий Александрович, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: dm-sk@mail.ru

Божкова Светлана Евгеньевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: bozhkova@mail.ru

Борохвостова Мария Андреевна, магистрант, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: simon-16@yandex.ru

Authors' Information

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo St., 6); Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: niimmp@mail.ru

Skachkov Dmitry Aleksandrovich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: dm-sk@mail.ru

Bozhkova Svetlana Evgenievna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: bozhkova@mail.ru

Borokhvostova Maria Andreevna, Master's student, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: simon-16@yandex.ru

HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND IMMUNE STATUS OF BLOOD OF THE SAANEN BREED EXPERIMENTAL GOATS WHEN THE ORGANIC TRACE ELEMENT COMPLEX IS INTRODUCED INTO THEIR DIET¹Zabelina M. V., ¹Goroshko D. D., ²Ryadnov A. A., ³Svetlov V. V., ¹Stupina L. V.¹Vavilov University

Saratov, Russian Federation

²Volgograd State University

Volgograd, Russian Federation

³RosNIISK «Rossorgo»

Saratov, Russian Federation

Corresponding author E-mail: mvzabelina@mail.ru

Received 23.01.2025

Submitted 28.02.2025

Abstract

Introduction. The goat breeding industry in the Lower Volga region, including the Saratov region, is currently gaining a broad pace of development. Studies by many scientists on the main interior parameters of goat blood have shown the effectiveness of the use of trace elements in the diet, depending on the degree of balance of the daily allowance for useful and biologically active substances, the level of processing and deposition of minerals, the mutual reaction and reaction with other nutrients during absorption, transfer and excretion, the position of the control systems, morphological and physiological state of animals [1]. Blood plays a very important role in the body of animals. Morphological and biochemical parameters of blood are used for an objective assessment of the internal environment of the body, the level of orientation of metabolic processes and the activity of its protective systems. It has multifaceted functions due to the presence of proteins in its composition that are involved in a wide variety of metabolic processes. The homeostasis of the body's environment and blood viscosity are carried out by albumins and α , β and γ -globulins [2]. The nutritional use of essential trace elements based on aspartic acid and other chelated compounds has great stability, chemical and physical uniformity and is able to increase the absorption of feed, thereby enhancing the effect of the elements on metabolic processes in the body. They also selectively exhibit depositing ability in organs and tissues, which has a direct effect on the hematopoietic function of hematopoietic organs. The use of the OMEK-7 organic trace element complex in the premix diet contributed to the optimization of the morphological composition of blood and its biochemical status. The increased content of erythrocytes, average volume of erythrocytes, hematocrit, hemoglobin, total protein, albumins, globulins, urea, high activity of ALT, AST and alkaline phosphatase enzymes, macronutrients in the blood of experimental groups of female goats indicates the activation of redox processes in their body. Animals with high milk production are very sensitive to the deficiency of vital trace elements, especially at the stage of acclimatization in a wide variety of biogeochemical zones. The use of a microelement complex for dairy goats based on asparagines in concentrations of 5 %, 10 % and 20 % of the control in the form of OMEK-7 helps to improve blood parameters responsible for the main metabolic processes in the body of goats. The diets for the experimental groups of female goats do not differ in nutritional value, however, chelated compounds of trace elements have better bioavailability, and, consequently, the animals of the experimental groups will be more provided with the necessary trace elements. **Object.** The object of research is female goats of the Zaanen breed. **Materials and methods.** Studies have established the effect of the OMEK-7 organic trace element complex on the morphological and biochemical status of the blood of dairy goats. Experimental work was carried out on lactating goats of the Zaanen breed. Four groups were formed, the first – control, the second, the third and the fourth – experimental. A microelement complex consisting of seven microelements was introduced into the diet of experimental female goats in different concentrations with premix. **Results and conclusions.** According to the research results, feeding the tested organic trace element complex had a positive effect on the morphological and biochemical status of the blood of dairy goats. During the main period of the experiment, the number of red blood cells in the blood of goats of the II, I and III experimental groups exceeded the content of these shaped elements by 17.45 %, 11.22 % and 2.96 %, respectively, compared with animals of the control group. Hemoglobin levels in the blood of goats of the II, I and III experimental groups exceeded those in the blood of goats of the control group by 15.00 %; 8.31 % and 4.81 %, respectively. In terms of the amount of total protein in the blood serum, the advantage was on the side of animals of the II experimental group, so the superiority over their peers from the control group was 6.74 %, and the advantage of the I and III experimental groups over the control group was 4.40 % and 1.40 %, respectively. A similar trend can be traced in the content of albumins and globulins in the blood serum. Thus, in terms of albumin content, the superiority of female goats of the II, I and III experimental groups over the control group was 8.48 %; 4.66 % and 1.02 %, and in terms of serum globulin content by 5.15 %; 4.18 % and 1.73 %, respectively.

Keywords: Saanen goat breed, Saanen goats, goat blood parameters, goat diets, organic trace element feed additives.

Citation. Zabelina M. V., Goroshko D. D., Ryadnov A. A., Svetlov V. V., Stupina L. V. Hematological parameters and immune status of blood of the Saanen breed experimental goats when the organic trace element complex is introduced into their diet. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 249-258 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-27.

Author's contribution. The team of authors was directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.39 (571.118)

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ИММУННЫЙ СТАТУС КРОВИ ПОДОПЫТНЫХ КОЗОМАТОК ЗААНЕНСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ИХ РАЦИОН ОРГАНИЧЕСКОГО МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА

¹**Забелина М. В.**, доктор биологических наук, профессор

¹**Горошко Д. Д.**, аспирант

²**Ряднов А. А.**, доктор биологических наук, профессор

³**Светлов В. В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

¹**Ступина Л. В.**, кандидат ветеринарных наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Вавиловский университет

г. Саратов, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

³ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»

г. Саратов, Российская Федерация

Актуальность. Козоводческая отрасль в регионе Нижнего Поволжья, в том числе и в Саратовской области в настоящий момент набирает высокие темпы развития. Исследования многих ученых по основным интерьерным показателям крови коз показали результативность применения микроэлементов в рационе в сопряженности со степенью сбалансированности суточной нормы по полезным и биологически активным веществам, уровня переработки и отложения в запас минеральных веществ, взаимной реакции и реакции с другими питательными веществами в процессе абсорбции, переноса и выведения, от положения контролирующих систем, от морфологического, физиологического состояния животных [1]. Кровь выполняет в организме животных очень важную роль. Для объективной оценки внутренней среды организма, уровня направленности обменных процессов и активности его защитных систем служат морфологические и биохимические показатели крови. Она обладает многогранными функциями, что связано с наличием в ее составе белков, которые принимают участие в самых различных метаболических процессах. Гомеостаз среды организма и вязкость крови осуществляется альбуминами и α , β и γ -глобулинами [2]. Алиментарное применение эссенциальных микроэлементов на основе аспарагиновой кислоты и других хелатных соединений обладают большой стабильностью, химической и физической однородностью и способны увеличивать всасывание кормов, тем самым усиливая влияние элементов на метаболические процессы в организме. Также они селективно проявляют депонирующую способность в органах и тканях, что оказывает непосредственное влияние на гемопоэтическую функцию кроветворных органов. Использование в составе премикса рациона органического микроэлементного комплекса «ОМЭК-7» способствовало оптимизации морфологического состава крови и ее биохимического статуса. Повышенное содержание в крови опытных групп козочек эритроцитов, среднего объема эритроцитов, гематокрита, гемоглобина, общего белка, альбуминов, глобулинов, мочевины, высокая активность ферментов АЛТ, АСТ и щелочной фосфатазы, макроэлементов свидетельствует об активизации окислительно-восстановительных процессов в их организме. Животные, имеющие высокую молочную продуктивность, очень чувствительны к дефициту жизненно-важных микроэлементов, особенно на этапе акклиматизации в самых разнообразных биогеохимических зонах. Применение микроэлементного комплекса дойным козам на основе аспарагинатов в концентрациях 5 %; 10 % и 20 % от контроля в форме «ОМЭК-7» способствует улучшению показателей крови, отвечающих за основные обменные процессы в организме коз. Рационы для подопытных групп козочек по питательности не отличаются, однако хелатные соединения микроэлементов имеют лучшую биодоступность, а следовательно, животные опытных групп будут более обеспечены необходимыми микроэлементами. **Объект.** Объектом исследований являются козочки зааненской породы. **Материал и методы.** Исследованиями было установлено влияние органического микроэлементного комплекса «ОМЭК-7» на морфологический и биохимический статус крови дойных коз. Экспериментальная работа проведена на лактирующих козах зааненской породы. Были сформированы четыре группы, первая – контрольная, вторая, третья и четвертая – опытные. В рацион опытных козочек в разной концентрации с премиксом был введен микроэлементный комплекс, в состав которого входили семь микроэлементов. **Результаты и выводы.** Согласно полученным результатам исследований, скармливание испытыва-

мого органического микроэлементного комплекса оказало положительное влияние на морфологический и биохимический статус крови дойных коз. В главный период опыта количество эритроцитов в крови у козوماتок II, I и III опытных групп превышало содержание этих форменных элементов по сравнению с животными контрольной группы на 17,45 %; 11,22 % и 2,96 % соответственно. Показатели гемоглобина в крови коз II, I и III опытных групп превышали таковые в крови коз контрольной группы на 15,00 %; 8,31 % и 4,81 % соответственно. По количеству общего белка в сыворотке крови преимущество было на стороне животных II опытной группы, так, превосходство над сверстницами из контрольной группы составило 6,74 %, а преимущество I и III опытных групп над контрольной составило 4,40 % и 1,40 % соответственно. Аналогичная тенденция прослеживается по содержанию альбуминов и глобулинов в сыворотке крови. Так по содержанию альбуминов превосходство козوماتок II, I и III опытных групп над контрольной составило 8,48 %; 4,66 % и 1,02 %, а по содержанию глобулинов в сыворотке крови на 5,15 %; 4,18 % и 1,73 % соответственно.

Ключевые слова: зааненская порода коз, козوماتки зааненской породы, показатели крови козوماتок, рационы козوماتок, органические микроэлементные кормовые добавки.

Цитирование. Забелина М. В., Горошко Д. Д., Ряднов А. А., Светлов В. В., Ступина Л. В. Гематологические показатели и иммунный статус крови подопытных козوماتок зааненской породы при введении в их рацион органического микроэлементного комплекса. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 249-258. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-27.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последнее время аграрии Поволжского региона особое внимание уделяют молочному козоводству [3] Козье молоко является по своему составу уникальным продуктом, максимально приближенным к женскому молоку [4, 5, 6]. Исходя из этого оно, бесспорно, становится основой здорового питания для детей грудного возраста, а также для больных и пожилых людей [7].

Зааненские козы имеют высокую молочную продуктивность и занимают ведущее место среди специализированных молочных пород в козоводстве разных стран мира. В связи с этим для большего раскрытия генетического потенциала этих животных и получения более высокой молочной продуктивности с наименьшими затратами кормов необходимо грамотно составлять рационы по минеральным веществам в составе премиксов [8].

Надо заметить, что в хозяйствах Саратовской области наблюдается дефицит в кормах различных макро- и микроэлементов. Слабая обеспеченность микроэлементами растений, почвы, воды и кормов для животных вызывает у них реакцию оксидативного стресса, который, в свою очередь, служит пусковым механизмом фундаментальных молекулярно-клеточных сдвигов в организме, которые способствуют возникновению гипомикроэлементозов. Они влияют на процессы снижения продуктивности у животных и процессы воспроизводства [9, 10, 11, 12, 13, 14].

Кровь является важным интерьерным показателем, несущим массу информации. В цитологической структуре крови 40-45 % занимают эритроциты, лейкоциты и тромбоциты, на долю плазмы приходится 55-65 %. При физиологической норме организма животного качественный и количественный состав крови стабилен и постоянен, что объясняется регуляцией обменных процессов нервной и гуморальной систем и в целом обуславливает гомеостатическое равновесие [15, 16]. Применение премиксов с микроэлементами на основе аспарагиновой кислоты представляет определенный научный и практический интерес. А гематологические показатели, обладая высокой лабильностью, служат индикатором различных процессов, протекающих в организме.

Целью исследований являлось влияние органического микроэлементного комплекса «ОМЭК-7М» на гематологическую картину крови дойных коз.

Материалы и методы. Исследования проводились в период с 2022 по 2025 годы на козах зааненской породы в условиях ИП Глава КФХ Алексашина Е. А. Екатериновского района, Саратовской области. Материалом исследований послужили козы зааненской породы. Были сформированы 4 группы: контрольная, I, II и III опытные группы по 10 голов в каждой. Животные из контрольной группы потребляли основной рацион (ОР) плюс премикс, содержащий микроэлементы в форме неорганических солей, а животным из I опытной группы дополнительно к основному рациону (ОР) добавлялся премикс, содержащий микроэлементы в количестве 5 % от контроля в форме «ОМЭК-7М», животным из II опы-

ной группы дополнительно к основному рациону (ОР) добавлялся премикс, содержащий микроэлементы в количестве 10 % от контроля в форме «ОМЭК-7М», животным же из III опытной группы дополнительно к основному рациону (ОР) добавлялся премикс, содержащий микроэлементы в количестве 20 % от контроля в форме «ОМЭК-7М». Продолжительность опыта составила 210 дней. В течение всего опыта подопытные животные находились в одном хозяйстве и в одинаковых условиях кормления и содержания. Рационы животных всех групп во время научно-хозяйственного опыта были сбалансированы согласно нормам РАСХН [17] и составлены с учетом продуктивности, возраста и живой массы коз.

Для оценки морфофункционального состояния организма подопытных коз был проведен анализ крови по гематологическим, биохимическим и иммунологическим показателям. Пробы крови для анализов брали у козоток в утренние часы натощак из яремной вены. Для определения содержания эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина использовался автоматический гематологический анализатор «PCE-90 Vet» (USA), а для определения биохимических анализов полуавтоматический биохимический анализатор марки «Bioshem-SA» (USA).

Для проведения анализов определения микроэлементов (Mn, Cu, Fe, Zn, Co, I и Se) в пробах крови был выбран атомно-абсорбционный метод исследования биологического материала, как один из наиболее точных. Исследования проб крови на общее содержание микроэлементов проводились на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Спектр-5».

Полученный цифровой материал в опыте обрабатывали на компьютере с использованием программы «Microsoft Office».

Результаты и обсуждение. В последние годы широкое развитие в зоотехнии получило учение об интерьере сельскохозяйственных животных. Кровь, сохраняя свою константность, в той или иной степени представляет собой достаточно лабильную систему, которая быстро отражает нормальные и патологические изменения, происходящие в организме козоток под влиянием самых различных факторов. Что касается лактирующих козоток, то, в частности в их организме, кровь выполняет транспортную роль в доставке к молочной железе питательных веществ корма, которые необходимы для биосинтеза и продуцирования молока. Биохимический статус крови коз по своей сути имеет разнообразные значения, но вместе с тем является интегральным показателем, оказывающим большое влияние на состав козьего молока и молочную продуктивность козоток в целом.

Для того чтобы оценить действие органического микроэlementного комплекса «ОМЭК-7М» на физиологическое состояние подопытных козоток, были проведены гематологические исследования, представленные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Показатели общего гомеостаза крови козоток заанеской породы (n=3, $\Sigma=12$)

Table 1 – Indicators of total blood homeostasis of Zaane goats (n=3, $\Sigma=12$)

Показатель / Index	Норма / Norm	Группа / Group			
		Контрольная / Control	I опытная / Test I	II опытная / Test II	III опытная / Test III
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$ / Erythrocytes, $\times 10^{12}/л$	7,5-12,5	9,18 $\pm$ 0,02	10,34 $\pm$ 0,01***	11,12 $\pm$ 0,03***	9,46 $\pm$ 0,06***
Средний объем эритроцита, мкм ³ или фл / Average red blood cell volume, μm^3 or vial	14-25	15,52 $\pm$ 0,05	17,48 $\pm$ 0,12***	18,72 $\pm$ 0,14***	16,37 $\pm$ 0,17***
Гематокрит, % / Hematocrit, %	23-35	24,18 $\pm$ 0,14	27,44 $\pm$ 0,18	28,53 $\pm$ 0,23	25,16 $\pm$ 0,21*
Лейкоциты, $\times 10^9/л$ / Leukocytes, $\times 10^9/л$	5-14	8,5 $\pm$ 0,14	8,2 $\pm$ 0,17	7,9 $\pm$ 0,35	8,7 $\pm$ 0,23
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	80-115	87,31 $\pm$ 0,38	95,22 $\pm$ 0,32***	102,72 $\pm$ 0,58***	91,72 $\pm$ 0,36***

Примечание. Здесь и далее условными знаками дана достоверность разницы показателей по сравнению с контрольной группой: «*» – $p \leq 0,05$; «**» – $p \leq 0,01$; «***» – $p \leq 0,001$.

P.S. Средний объем эритроцита выражается в кубических микрометрах (мкм³) или фемтолитрах (фл), 1 фемтолитр = 10^{-15} литров.

Note. Hereinafter, conventional signs give the reliability of the difference in indicators compared to the control group: "*" – $p \leq 0.05$; "**" – $p \leq 0.01$; "***" – $p \leq 0.001$. P.S. The average volume of an erythrocyte is expressed in cubic micrometers (μm^3) or femtoliters (fl), 1 femtoliter = 10^{-15} liters.

В главный период опыта количество эритроцитов в крови у козوماتок II, I и III опытных групп превышало содержание этих форменных элементов в крови по сравнению с животными контрольной группы на 17,45 %; 11,22 % и 2,96 % соответственно.

При этом надо сделать акцент на том, что козоматки II, I и III опытных групп, получавшие к основному рациону органический микроэлементный комплекс «ОМЭК-7М» в количестве 5 %; 10 % и 20 % от контроля, имели повышенное содержание эритроцитов в сыворотке крови, что напрямую связано с интенсивностью метаболизма в их организме под действием этого микроэлементного комплекса.

Эритроцитарный индекс (средний объем эритроцитов в крови) наибольшее значение имел у козوماتок II опытной группы и составил 18,72 фл., что больше, чем у козوماتок контрольной группы на 17,09 %; у козوماتок I и III опытных групп на 11,21 % и 5,19 % соответственно. Эритроцитарный индекс показывает изменчивость объема количества эритроцитов в крови и является диагностическим индикатором для определения анизоцитоза и железодефицитного состояния организма животных.

Уровень гематокрита как в контрольной, так и в опытных группах не превышал референсных значений, но при этом нужно отметить, что максимальное его значение было в крови коз II опытной группы, что на 15,25 % больше, чем в крови коз контрольной группы. А козы I и III опытных групп по данному показателю также превышали коз контрольной группы на 11,88 % и 3,90 % соответственно.

Содержание лейкоцитов в крови козوماتок исследуемых групп в главном периоде опыта находилось в пределах физиологической нормы. Так, по показателю лейкоцитов в крови коз II и I опытных групп данные были ниже, чем в крови коз контрольной группы, на 7,59 % и 3,66 %, а в крови коз III опытной группы наоборот выше, чем в крови коз контрольной группы на 2,30 %. Использование в рационе микроэлементного органического комплекса способствовало оптимальному содержанию лейкоцитов в крови (в соответствии с физиологической нормой) и положительно сказалось на формировании защитных сил организма козوماتок всех опытных групп.

Что касается гемоглобина, то при исследовании его концентрации в крови опытных групп козوماتок наблюдаются колебания. Гемоглобин принимает участие в механизмах регуляции реакции среды (рН) крови, в транспортировке кислорода и углекислого газа, в работе самой мощной и влиятельной буферной системы крови. Его показатели в крови коз II, I и III опытных групп превышали таковые в крови коз контрольной группы на 15,00 %; 8,31 % и 4,81 % соответственно.

Подобный результат согласуется с данными исследований Никитиной С. В. [18], которая отметила в своей работе, что показатели красной крови менялись на протяжении проведения эксперимента, однако все изменения находились в границах физиологической нормы. Полученные ею результаты могут быть использованы для коррекции адаптационных возможностей организма коз, а также оптимальной организации технологического процесса, направленного на совершенствование продуктивных качеств животных.

Данные, приведенные в таблице 2, показывают, что биохимические показатели сыворотки крови подопытных козوماتок всех групп главного периода опыта находились в пределах физиологической нормы. По результатам исследований было установлено, что высокие показатели по количеству общего белка и его фракций имели животные, к основному рациону которых был добавлен органический микроэлементный комплекс «ОМЭК-7М».

По количеству общего белка в сыворотке крови преимущество было на стороне животных II опытной группы, так, превосходство над сверстницами из контрольной группы составило 6,74 %, а преимущество I и III опытных групп над контрольной группой составило 4,40 % и 1,40 % соответственно. Аналогичная тенденция прослеживается по содержанию альбуминов и глобулинов в сыворотке крови. Так, по содержанию альбуминов превосходство козوماتок II, I и III опытных групп над контрольной группой составило 8,48 %; 4,66 % и 1,02 %, а по содержанию глобулинов в сыворотке крови – на 5,15 %; 4,18 % и 1,73 % соответственно.

Общепризнанно, что альбуминовая фракция белков сыворотки крови имеет максимальную связь с продуктивностью животных относительно глобулиновой. Содержание глобулиновых фракций в сыворотке крови обуславливает наличие или отсутствие воспалительных процессов в организме. Следовательно, проведенные исследования по белковому

составу крови дают возможность прогнозировать получение высокой молочной продуктивности и белково-молочности молока козоток опытных групп с превосходством над контрольной группой.

Таблица 2 – Биохимические показатели сыворотки крови подопытных коз (n=3, $\Sigma=12$)Table 2 – Biochemical parameters of blood serum of experimental goats (n=3, $\Sigma=12$)

Показатель / Index	Норма / Norm	Группа / Group			
		контрольная / Control	I опытная / Test I	II опытная / Test II	III опытная / Test III
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	61-75	68,21±0,21	71,35±0,48**	73,14±0,26***	69,18±0,90
альбумины, г/л / albumins, g/l	23-36	31,95±1,18	33,51±0,87	34,91±1,76	32,28±0,64
%	38-48	46,84	46,97	47,73	46,66
глобулины, г/л	27-44	36,26±1,50	37,84±1,20	38,23±1,34	36,90±0,59
%	44-59	53,16	53,03	52,27	53,34
Белковый коэффициент (А/Г) / Protein coefficient (A/G)	-	0,88	0,89	0,91	0,87
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	4,5-9,2	5,43±0,57	5,65±0,46	5,81±0,11	5,54±0,36
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	2,7-4,2	3,48±0,22	3,62±0,11	3,87±0,12	3,52±0,15
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	1,7-3,5	2,63±0,18	2,51±0,14	2,43±0,13	2,59±0,20
АЛТ, ед./л / ALT, units/l	15-52	29,38±0,69	34,46±0,76**	39,72±1,06***	32,12±0,58*
АСТ, ед./л / AST, units/l	66-230	110,31±1,99	116,24±1,49	123,13±2,86*	111,42±3,12
Щелочная фосфатаза, ед./л / Alkaline phosphatase, u/l	61-283	146,52±5,09	153,41±2,13	167,65±3,72*	148,17±2,00
Ca, ммоль/л / Ca, mmol/l	2,3-2,9	2,64±0,16	2,75±0,13	2,89±0,03	2,68±0,11
P, ммоль/л / P, mmol/l	1,2-3,1	2,66±0,05	2,83±0,05	2,95±0,08*	2,73±0,09

Примечание. Здесь и далее условными знаками дана достоверность разницы показателей по сравнению с контрольной группой: «*» - $p \leq 0,05$; «**» - $p \leq 0,01$; «***» - $p \leq 0,001$.

Note. Hereinafter, conventional signs give the reliability of the difference in indicators compared to the control group: "*" - $p \leq 0.05$; "**" - $p \leq 0.01$; "***" - $p \leq 0.001$.

Также отмечаем то, что в крови животных II и I опытных групп увеличивается белковый коэффициент по сравнению с животными из контрольной группы на 3,30 %; 1,12 %, а в III опытной группе уменьшается на 1,15 % по сравнению с контрольной группой.

О хорошем белковом обмене в организме также свидетельствует содержание в крови его основного конечного продукта мочевины. Небольшое содержание мочевины в крови животных всех групп говорит в пользу интенсивности обмена белков. Однако незначительные колебания для этого показателя наглядно прослеживаются в наших исследованиях. Тем не менее превосходство по мочеине в крови у коз II, I и III опытных групп над контрольной группой составило 6,54 %; 3,89 % и 1,99 % соответственно.

Помимо белкового профиля крови козоток, большой интерес представляют ее ферменты, по наличию которых можно судить о продуктивной ценности животных. Энзимы играют исключительно важную роль в осуществлении обменных процессов в организме, а их активность становится показателем состояния обмена веществ. Огромное значение в организме принадлежит ферментам переаминирования или дезаминирования, которые участвуют как в синтезе, так и в распаде белка. Нами изучена активность ферментов переаминирования в организме козоток в зависимости от введения в рацион органического микроэлементного комплекса. Данные исследований по содержанию АЛТ и АСТ показали,

что в сыворотке крови козوماتок II, I, III опытных групп выше, чем в контрольной группе на 26,03 %; 14,74 %; 8,53 % и 10,41 %; 5,10 %; 1,0 % соответственно. Вследствие чего мы сделали вывод, что включение в рацион козوماتок опытных групп органического микроэлементного комплекса «ОМЭК-7М» повышает активность АЛТ и АСТ, ускоряет при этом синтез сывороточных белков.

Для оценки углеводного обмена определяли содержание глюкозы в сыворотке крови коз. Глюкоза – основной субстрат, необходимый для энергообразования и жизнедеятельности любой клетки, в том числе и клеток молочной железы. Сравнительно постоянная концентрация глюкозы в крови является результатом двух противоположных, но скоординированных процессов: скорости поступления глюкозы из кишечника, печени, почек в кровь; скорости выведения глюкозы из крови в клетки различных тканей и ее использования в различных метаболических путях. Наши данные показывают, что ее содержание в крови козوماتок II, I и III опытных групп выше на 10,08 %; 3,87 % и 1,14 % по сравнению с контролем.

Содержание в сыворотке крови одной из липидных фракций – холестерина, тесно связано с функциональным состоянием организма. Условия кормления имеют определенное отношение к уровню холестерина в сыворотке крови козوماتок. Данные по этому показателю претерпевают некоторые колебания. Его содержание в крови козوماتок II, I и III опытных групп было ниже, чем в контрольной группе, на 8,23 %; 4,78 % и 1,54 % соответственно. Приведенные результаты можно объяснить тем, что организм козوماتок, получавших с рационом органический микроэлементный комплекс, способствует интенсивному синтезу половых гормонов в корковом слое надпочечников непосредственно из холестерина, что и является причиной его уменьшения в общем кровотоке.

Щелочная фосфатаза включена в состав семи наиболее важных в лабораторной диагностике ферментов сыворотки крови. Это и является ее значимой ролью индикатора метаболического статуса организма. Этот фермент содержится фактически во всех тканях, и в частности в лактирующей молочной железе. Щелочная фосфатаза оказывает каталитическое действие на липидный и углеводный обмены [19]. По содержанию щелочной фосфатазы в сыворотке крови козوماتок II, I и III опытных групп превосходили сверстниц из контрольной группы на 12,60 %; 4,49 % и 1,11 %. Общей закономерностью для коз всех опытных групп является повышение уровня щелочной фосфатазы в сыворотке крови с увеличением их молочной продуктивности на фоне использования органического микроэлементного комплекса «ОМЭК-7М».

Надо отметить, что кальций и фосфор имеют главенствующее значение для жизненных процессов животных и получения от них продукции, в первую очередь молока. В этой связи нами было установлено содержание этих макроэлементов в крови подопытных козوماتок. В главный опытный период содержание кальция и фосфора в крови опытных групп козوماتок по сравнению с контролем достоверно выше на 8,65 %; 4,00 %; 1,49 % и 9,83 %; 6,01 %; 2,56 %. Таким образом оптимальное функционирование организма козوماتок тесно связано с наличием в кормовых рационах минеральных элементов в определенных количествах и соотношениях. Предполагаем, что увеличение в крови козوماتок этих жизненно-важных элементов непосредственно связано с использованием в рационах органического микроэлементного комплекса.

Помимо изучения показателей общего гомеостаза крови, биохимических показателей, большой интерес представляет изучение содержания микроэлементов в крови. Добавление к основному рациону премикса с различными долями органического микроэлементного комплекса «ОМЭК-7М» позволило установить динамику количественного микроэлементного состава крови подопытных коз. Данное исследование предоставило возможность провести оценку обеспеченности организма коз минеральными веществами.

Исследования в этом направлении представлены в таблице 3.

Обширные исследования в области биохимии, физиологии и микробиологии привели к установлению фундаментального положения о том, что в кормлении животных наряду с белками, жирами и углеводами исключительно важное значение приобретают минеральные вещества. Общеизвестно, что в молоко минеральные вещества попадают непосредственно из крови. В связи с этим определение в крови козوماتок содержания Mn, Cu, Fe, Zn, Co, I и Se становится вполне целесообразным.

Таблица 3 – Микроэлементный состав крови подопытных коз (n=3, $\Sigma=12$)
Table 3 – Microelement composition of blood of experimental goats (n=3, $\Sigma=12$)

Показатель / Index	Норма / Norm	Группа / Group			
		контрольная / control	I опытная / test I	II опытная / test II	III опытная / test III
Марганец (Mn), мкг/100 мл / Manganese (Mn), µg/100 ml	0,09-0,12	0,095±0,010	0,111±0,012	0,119±0,010	0,102±0,011
Медь (Cu), мкг/100 мл / Copper (Cu), µg/100 ml	50-70	52,18±2,05	59,48±1,93*	62,38±3,02*	54,23±2,80
Железо (Fe), мкг/100 мл / Iron (Fe), µg/100 ml	110-130	112,27±2,02	119,89±2,89	121,62±3,01*	118,11±3,27
Цинк (Zn), мкг/100 мл / Zinc (Zn), µg/100 ml	20,0-24,0	20,11±2,10	22,28±2,21	23,35±2,35	21,19±2,54
Кобальт (Co), мкг/100 мл / Cobalt (Co), µg/100 ml	1,5-4,0	1,6±0,27	2,2±0,22	3,4±0,29**	1,7±0,25
Иод (I), мкг/100 мл / Iodine (I), µg/100 ml	13-19	11,86±0,77	14,27±0,83	15,82±0,87*	13,11±0,91
Селен (Se), мкг/100 мл / Selenium (Se), µg/100 ml	5-18	7,38±0,97	11,25±0,93*	12,42±0,88*	9,56±0,94

Примечание. Здесь и далее условными знаками дана достоверность разницы показателей по сравнению с контрольной группой: «*» - $p \leq 0,05$; «**» - $p \leq 0,01$; «***» - $p \leq 0,001$.

Note. Hereinafter, conventional signs give the reliability of the difference in indicators compared to the control group: "*" - $p \leq 0,05$; "**" - $p \leq 0,01$; "***" - $p \leq 0,001$.

По нашим данным, максимальное содержание марганца в крови коз II опытной группы по сравнению с контролем, было выше на 20,17 %, а превосходство I и III опытных групп над контролем составило 14,41 % и 6,86 %. Так наибольшее содержание меди в крови было у коз II опытной группы и составляло 62,38 мкг/100 мл, что больше чем в контрольной группе на 16,35 %. В крови коз I опытной группы содержание меди больше, чем в контрольной группе на 12,27 %, а в III опытной группе содержание меди больше, чем в контрольной группе на 3,78 %. Полученные нами данные говорят о том, что наибольшее содержание железа в крови козозоматок зааненской породы было во II опытной группе и составило 121,62 мкг/100 мл. При этом установлено, что превосходство вышеуказанной опытной группы над контрольной группой составило 7,69 %. А превосходство I и III опытных групп над контрольной группой составило 6,36 % и 4,94 %. Определенный нами уровень цинка в крови дойных коз показал, что наибольшее его количество содержится в крови животных II опытной группы и составляет 20,35 мкг/100 мл, что на 1,18 % больше, чем у животных контрольной группы, а превосходство по количеству цинка в крови коз I и III опытных групп над контрольной группой составило 0,84 % и 0,40 %. В нашем случае показатели кобальта в крови у всех подопытных групп животных не выходят за рамки референсных значений. Тем не менее, между группами имеются различия. Так показатели микроэлемента кобальта в крови коз II, I и III опытных групп были выше на 52,94 %; 27,27 % и 5,88 % относительно контрольной группы. В период главного опыта козозоматки контрольной группы имели наименьший показатель в крови по йоду по сравнению с опытными группами. На наш взгляд это обусловлено введением в рацион животных опытных групп органического микроэлементного комплекса «ОМЭК-7М» в концентрации 5 %, 10 % и 20 %. Наибольшие показатели по йоду были отмечены в крови козозоматок II, I и III опытных групп относительно контрольной на 25,03 %; 16,89 % и 9,53 %. Данные по содержанию селена в крови козозоматок фактически похожи на содержание йода, то есть его содержание у коз II, I и III опытных групп по сравнению с контрольной были выше на 40,58 %; 34,40 % и 22,80 % соответственно.

Заключение. Учеными ЗАО «Биоамид» произведен органический микроэлементный комплекс «ОМЭК-7М», разработанный для обогащения премиксов и комбикормов органическими формами микроэлементов марганца, меди, кобальта, цинка, железа, йода и селена. Внесе-

ние «ОМЕК-7М» в качестве компонента премикса в количестве 5 %, 10 % и 20 % от контроля в форме органического микроэлементного комплекса для молочных коз полностью компенсирует физиологические потребности их организма в выше названных минеральных элементах. При этом показатели крови, отображающие главные метаболические процессы в организме коз, в том числе и микроэлементный состав сыворотки крови показал повышенное содержание в крови опытных групп козоток эритроцитов, среднего объема эритроцитов, гематокрита, гемоглобина, общего белка, его фракций, мочевины, а также высокую активность ферментов АЛТ, АСТ и щелочной фосфатазы. Помимо этого, введение в основной рацион с премиксом в различных составляющих органического микроэлементного комплекса позволило установить динамику количественного микроэлементного состава крови подопытных коз.

Conclusions. Scientists of Bioamid CJSC have produced an organic trace element complex OMEK-7M, developed for the enrichment of premixes and mixed feeds with organic forms of trace elements manganese, copper, cobalt, zinc, iron, iodine and selenium. The introduction of OMEK-7M as a component of the premix in the amount of 5 %, 10 % and 20 % of the control in the form of an organic trace element complex for dairy goats fully compensates for the physiological needs of their body in the above-mentioned mineral elements. At the same time, blood parameters reflecting the main metabolic processes in the body of goats, including the trace element composition of blood serum, showed an increased content of erythrocytes in the blood of experimental groups of goats, an average volume of erythrocytes, hematocrit, hemoglobin, total protein, its fractions, urea, as well as high activity of the enzymes ALT, AST and alkaline phosphatase. In addition, the introduction of an organic trace element complex into the basic diet with a premix in various components made it possible to establish the dynamics of the quantitative microelement composition of the blood of experimental goats.

Библиографический список

1. Bondesan V., Miotello S., Bailoni L. Effects of breed on milk quality traits from organic goat farms. Milk Quality Regional IGA Conference 2013 in Tromsø. Norway ABSTRACTS. Pp. 9-10.
2. Муратова В. В. Гематологические показатели и естественная резистентность молодняка овец эдильбаевской породы различной живой массы. Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 83-86.
3. Чамурлиев Н. Г., Зыкова А. А., Шперов А. С. Адаптационные особенности, молочная продуктивность и качество молока коз зааненской и англо-нубийской пород в условиях Нижнего Поволжья. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2021. 96 с.
4. Варыгина О. А. Биологическая ценность козьего молока: технологии производства. Научно-исследовательский центр "Technical Innovations". 2023. № 20. С. 247-252.
5. Дмитриев А. В. и др. Современные адаптированные смеси для вскармливания младенцев: состояние проблемы и перспективы решения. Медицинский совет. 2023. Т. 17. № 17. С. 133-141.
6. Богданова Н. М. Уникальность состава козьего молока и преимущества использования формул на его основе у младенцев, лишенных грудного молока. Children's Medicine of the North-West. 2024. Т. 12. № 2. С. 74-88.
7. Волкова Л. Ю., Никитина Е. А., Орлова С. В. Изучение целесообразности использования в питании уязвимых групп населения обогащенного продукта на основе козьего молока. Медицинский алфавит. 2023. № 8. С. 14-22.
8. Зуева Е. М., Владимиров Н. И. Влияние премикса Кауфит Экстра на удой и качество молока в кормлении коз молочных пород. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (221). С. 61-66.
9. Миловидова Е. Д., Лукьянова Н. А. Значение минерального питания для дойных коз. Научные приоритеты в АПК: инновации, проблемы, перспективы развития: сборник научных трудов. Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2019. Т. 1. С. 148-152.
10. Варакин А. Т. и др. Оптимизация минерального питания откармливаемых баранчиков в условиях естественных пастбищ. Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 3. С. 39-42.
11. Муравьева В. В., Гречина Ю. Г., Ярмоц Г. А. Влияние минеральных веществ на воспроизводительные качества животных. Успехи молодежной науки в агропромышленном комплексе: сборник трудов LIX Студенческой научно-практической конференции. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. С. 126-135.
12. Пейча А. С., Пашаян С. А. Особенности обмена микроэлементов в организме животных. Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сборник LVI научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2023. С. 97-102.
13. Чебыкина А. А., Укроженко Д. С. Роль макро- и микроэлементов в кормлении коз. Молодежь и наука - 2023: сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск, 2023. С. 116-123.
14. Лутковская Я. В., Сизова Е. А., Камирова А. М. Ультрадисперсные формы микроэлементов в рационе жвачных животных: влияние на продуктивность и здоровье. Аграрный научный журнал. 2024. № 5. С. 96-104.
15. Алексеева Л. В. и др. Индуцирующее влияние комплексонов микроэлементов и их солей на цитохимические показатели крови козлят. Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2022. № 2 (66). С. 162-177.
16. Быковченко Ю. Г., Бердибаева А. Б. Физиологический гомеостаз по гематологии и биохимии крови у разных видов сельскохозяйственных животных Кыргызстана. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2022. № 4. С. 64-68.
17. Калашников А. П. и др. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М., 2003. 456 с.
18. Никитина С. В. Мониторинг цитометрических показателей красной крови оренбургских коз. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 216-219.
19. Дементьева Т. А. Активность щелочной фосфатазы в сыворотке крови свиней при откорме до разной живой массы. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2014. № 1 (30). С. 56-59.

References

1. Bondesan V., Miotello S., Bailoni L. Effects of breed on milk quality traits from organic goat farms. Milk Quality Regional IGA Conference 2013 in Tromsø. Norway ABSTRACTS. Pp. 9-10.
2. Muratova V. V. Hematological Indicators and Natural Resistance of Young Sheep of the Edilbaev Breed of Various Live Weights. Agrarian Scientific Journal. 2019. № 10. Pp. 83-86.
3. Chamurliov N. G., Zykhova A. A., Shperov A. S. Adaptation Features, Milk Productivity and Milk Quality of Saanen and Anglo-Nubian Goats in the Lower Volga Region. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2021. 96 p.
4. Varygina O. A. Biological value of goat's milk: production technologies. Research Center "Technical Innovations". 2023. № 20. Pp. 247-252.
5. Dmitriev A. V. et al. Modern Adapted Mixtures for Infant Feeding: State of the Problem and Prospects for Solution. Medical Council. 2023. V. 17. № 17. Pp. 133-141.
6. Bogdanova N. M. Uniqueness of the composition of goat's milk and the advantages of using formulas based on it in babies deprived of breast milk. Children's Medicine of the North-West. 2024. V. 12. No 2. Pp. 74-88.
7. Volkova L. Yu., Nikitina E. A., Orlova S. V. Study of the expediency of using an enriched product based on goat's milk in the nutrition of vulnerable groups of the population. Medical Alphabet. 2023. № 8. Pp. 14-22.
8. Zueva E. M., Vladimirov N. I. Influence of Kaufit Extra premix on milk yield and milk quality in feeding goats of dairy breeds. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2023. № 3 (221). Pp. 61-66.
9. Milovidova E. D., Lukyanova N. A. The importance of mineral nutrition for dairy goats. Scientific Priorities in the Agro-Industrial Complex: Innovations, Problems, Development Prospects: Collection of Scientific Works. Tver: Publishing House of the Tver State Agricultural Academy, 2019. V. 1. Pp. 148-152.
10. Varakin A. T. et al. Optimization of mineral nutrition of fattened sheep in natural pastures. Sheep, goats, woollen making. 2020. № 3. Pp. 39-42.
11. Murav'eva V. V., Grechina Yu. Successes of Youth Science in the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the LIX Student Scientific and Practical Conference. Tyumen: GAU of the Northern Trans-Urals, 2022. Pp. 126-135.
12. Peycha A. S., Pashayan S. A. [Features of the exchange of microelements in the body of animals. Achievements of youth science for the agro-industrial complex: collection of LVI scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. Tyumen: GAU of the Northern Trans-Urals, 2023. Pp. 97-102.
13. Chebykina A. A., Ukrozhenko D. S. The role of macro- and microelements in feeding goats. Youth and Science - 2023: Collection of Articles of the III International Research Competition. Petrozavodsk, 2023. Pp. 116-123.
14. Lutkovskaya Y. V., Sizova E. A., Kamirova A. M. Ultradisperse forms of microelements in the diet of ruminant animals: effect on productivity and health. Agrarian Scientific Journal. 2024. № 5. Pp. 96-104.
15. Alekseeva L. V. et al. Inducing effect of complexions of trace elements and their salts on cyto-biochemical indicators of goat blood. Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology. 2022. № 2 (66). Pp. 162-177.
16. Bykovchenko Y. G., Berdibaeva A. B. Physiological homeostasis in hematology and blood biochemistry in different species of agricultural animals in Kyrgyzstan. Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan. 2022. № 4. Pp. 64-68.
17. Kalashnikov A. P. et al. Norms and rations of feeding agricultural animals. Moscow, 2003. 456 p.
18. Nikitina S. V. Monitoring of cytometric indicators of red blood of Orenburg goats. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2021. № 3 (89). Pp. 216-219.
19. Dementyeva T. A. Activity of alkaline phosphatase in blood serum of pigs during fattening to different living masses. Vestnik NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2014. № 1 (30). Pp. 56-59.

Информация об авторах

Забелина Маргарита Васильевна, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7818-8109>; e-mail: mvzabelina@mail.ru

Горошко Даниил Дмитриевич, аспирант, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3), e-mail: goroshko.danya@yandex.ru

Ряднов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6826-8009>; e-mail: radnov@mail.ru

Светлов Владислав Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы (Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0270-1970>; e-mail: svsvetlov1992@mail.ru

Ступина Людмила Викторовна, кандидат ветеринарных наук, доцент, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3990-0386>; e-mail: stupinalv58@mail.ru

Authors' Information

Zabelina Margarita Vasilyevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Avenue, 4/3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7818-8109>; e-mail: mvzabelina@mail.ru

Goroshko Daniil Dmitrievich, postgraduate student, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Avenue, 4/3), e-mail: goroshko.danya@yandex.ru

Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6826-8009>; e-mail: radnov@mail.ru

Svetlov Vladislav Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher, Russian Research and Design Institute of Sorghum and Maize (Russian Federation, 410050, Saratov, 1st Institutsky proezd, 4), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0270-1970>; e-mail: svsvetlov1992@mail.ru

Stupina Lyudmila Viktorovna, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Avenue, 4/3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3990-0386>; e-mail: stupinalv58@mail.ru

THE EFFECT OF PHYTOBIOTICS IN DIETS ON POULTRY PRODUCTIVITY**Nikolaev S. I., Danilenko I. Y., Chekhranova S. V., Karapetyan A. K.,
Shkalenko V. V., Ponomarenko D. V.**Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author: taranova_15@mail.ru

Received 25.03.2025

Submitted 22.05.2025

The study was conducted within the framework of the research contract No. 8 dated 04/14/2023 on the topic "The effect of biologically active feed additives on intestinal microflora, metabolic processes and productivity of broiler chickens".

Abstract

Introduction. In industrial poultry farming, one of the current challenges today is the search for solutions aimed at an alternative replacement of feed antibiotics, the irrational use of which leads to the resistance of pathogens to their survival. All this determines the relevance of the search and constant provision of feed practice with new methods, by the properties of similar antibiotics. As an alternative, plant solutions, such as phytobiotics, are studied for their antimicrobial, growth-stimulating and immunostimulating effects on poultry. This article is a review of domestic and international scientific research on the use of phytobiotics in poultry farming. We analyzed the results of studies on the use of phytobiotic additives from various components in poultry farms. Based on the review, conclusions were made about the wide range of plant materials used as phytobiotics, the main biologically active compounds that determine the main properties of the studied preparations, the volumes of use of phytobiotics in feeding birds and the characteristic principles of productivity and quality of poultry products. **The object of the study.** The object of our research was agricultural poultry and phytobiotic preparations/additives used in poultry farming. **Materials and methods.** A comprehensive analysis was conducted aimed at solving the problem of studying phytobiotics in poultry farming, which consists of using analytical data from scientific literature by domestic and foreign authors. **Results and conclusions.** Statistical and research data on the study of various methods for obtaining phytobiotics and feed additives of plant origin, as well as their impact on the body of industrial poultry and poultry products were analyzed. The arguments based on the hypotheses of leading researchers about the difficulties of obtaining antibiotics and feed additives of plant origin, as well as the degree of their assimilation, are considered, and the authors' own opinion is formed based on the evidence of these hypotheses.

Keywords: poultry farming, poultry feeding, feed solutions, phytobiotics.

Citation. Nikolaev S. I., Danilenko I. Y., Chekhranova S. V., Karapetyan A. K., Shkalenko V. V., Ponomarenko D. V. The effect of phytobiotics in diets on poultry productivity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 259-266 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-28.

Author's contribution. All authors of the present study were involved in the planning, execution and analysis of the study results. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors have declared no conflicts of interest.

УДК 636.5.087.7.003.13

ВЛИЯНИЕ ФИТОБИОТИКОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ**Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Даниленко И. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук
Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук
Карапетын А. К., доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Шкаленко В. В., доктор биологических наук, доцент
Пономаренко Д. В., аспирант**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора на выполнение научно-исследовательских работ № 8 от 14.04.2023 г. по теме «Влияние биологически активных кормовых добавок на кишечную микрофлору, обменные процессы и продуктивность цыплят-бройлеров».

Актуальность. В промышленном птицеводстве одной из актуальных задач на сегодняшний день остается поиск решений, направленных на альтернативную замену кормовых антибиотиков, нерациональное использование которых приводит к устойчивости патогенов к их действию. Все это обуславливает актуальность поиска и повсеместного внедрения в кормовую практику новых добавок,

по свойствам аналогичных антибиотикам. В качестве альтернативы изучаются растительные решения, такие как фитобиотики, на предмет их антимикробного, стимулирующего рост и иммуностимулирующего действия на птицу. Данная статья представляет собой обзор отечественных и зарубежных научных исследований по использованию фитобиотиков в птицеводстве. Нами были проанализированы результаты исследований применения фитобиотических добавок из различных компонентов в птицеводческих хозяйствах. На основании обзора сделаны выводы о широком ассортименте растительного сырья, используемого в качестве фитобиотиков, об основных биологически активных соединениях, определяющих функциональные свойства изучаемых препаратов, объемах использования фитобиотиков в кормлении птицы и о характере влияния добавок на продуктивность и качество птицеводческой продукции. **Объект исследования.** Объектом проведенных нами исследований явилась сельскохозяйственная птица и фитобиотические препараты/добавки, используемые в птицеводстве. **Материалы и методы.** Проведен всесторонний анализ, направленный на решение проблемы исследования фитобиотиков в птицеводстве, заключающийся в использовании аналитических данных научной литературы отечественных и зарубежных авторов. **Результаты и выводы.** Проанализированы статистические и исследовательские данные по изучению различных методов получения фитобиотиков и кормовых добавок растительного происхождения, а также их влияния на организм промышленной птицы и продукты птицеводства. Рассмотрены аргументы, основанные на гипотезах ведущих исследователей о трудностях получения фитобиотиков и кормовых добавок растительного происхождения, а также степени их усвоения, сформировано собственное мнение авторов на основе доказательств этих гипотез.

Ключевые слова: птицеводство, кормление птицы, кормовые решения, фитобиотики.

Цитирование. Николаев С. И., Даниленко И. Ю., Чехранова С. В., Карапетян А. К., Шкаленко В. В., Пономаренко Д. В. Влияние фитобиотиков на продуктивность сельскохозяйственной птицы. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 259-266. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-28.

Авторский вклад. В данном исследовании все авторы принимали участие в планировании, выполнении, а также анализе полученных результатов. Представленный вариант статьи одобрен всеми авторами.

Конфликт интересов. О конфликте интересов авторы не заявляли.

Введение. Известно, что чрезмерное использование антибиотиков в цикле производства птицы может привести к резистентности к противомикробным препаратам. Что касается соображений безопасности пищевых продуктов, большинство развитых стран запретили использование антибиотиков в кормах для животных. Следовательно, возникает необходимость изучить другие альтернативы для профилактики заболеваний и стимулирования быстрого роста птицы.

Научный и производственный интерес к использованию фитобиотиков в качестве альтернативных кормовых добавок в рационах птицы возрастает в связи с их натуральностью, безопасностью при сниженном уровне токсичности (в сравнении с синтетическими антибиотиками).

Фитобиотики – это особый тип нутрицевтиков, представляющий собой непитательные натуральные биоактивные компоненты растительного происхождения, которые можно использовать в качестве кормовых добавок [38, 39].

Использование фитонутриентов при промышленном выращивании сельскохозяйственной птицы – перспективное направление современного птицеводства. Эти натуральные растительные добавки, содержащие биологически активные соединения, оказывают комплексное воздействие на организм, улучшая пищеварение, укрепляя иммунитет и повышая продуктивность.

Использование фитобиотиков способствует стимуляции аппетита и улучшению усвояемости кормов. Эфирные масла, содержащиеся в растениях, активизируют секрецию пищеварительных ферментов, что особенно важно для птицы.

Alghirani, M. M. ., Chung, E. L. T., Jesse, F. F. A. ., Sazili, A. Q. ., Loh, T. C. (2021) сообщают «...фитобиотики, такие как корица, тмин, орегано, гвоздика, тимьян, розмарин, шалфей, зеленый чай, чеснок, пажитник, перец, имбирь и другие смеси растений, как было обнаружено, обладают свойствами, способствующими росту, повышают усвояемость, стимулируют потребление корма и улучшают рост птицы» [26].

В связи с чем, **целью** настоящего обзора было изучение состава, свойств и возможности использования фитобиотических добавок в технологии птицеводства на основе анализа современных научных публикаций отечественных и зарубежных авторов.

Материалы и методы. В проведенных нами исследованиях были использованы аналитические данные научной литературы, сравнительного анализа полученного материала и обобщения.

Результаты и обсуждение. Исследования отечественных и зарубежных ученых, проведенные за последние десять лет, убедительно доказывают благоприятное влияние фитобиотических препаратов/добавок на микрофлору кишечника сельскохозяйственной птицы.

Сокращение вероятности развития инфекций обусловливается преобладанием здоровой микрофлоры кишечника, что способствует высокому уровню резистентности к патогенной микрофлоре.

Фитобиотики могут оказывать воздействие на состав кишечного микробиома, способствовать росту полезных бактерий (лактобактерии и бифидобактерии), предотвращая развитие патогенных микроорганизмов, поэтому растительные соединения могут действовать как пребиотики.

Однако, в отличие от пребиотиков, по мнению Багно О. А., Прохорова О. Н., Шевченко С. А., их влияние на организм сельскохозяйственных животных и птицы связано не только с антимикробным эффектом, но и с положительным влиянием на процессы пищеварения. Фитобиотики стимулируют выработку эндогенных ферментов, улучшая переваримость и усвоение питательных веществ кормов. Многие из них служат природными ароматизаторами, стимулирующими потребление корма, что положительно сказывается на продуктивности животных [25].

В птицеводстве активно применяется препарат Пробиоцид®-Фито (ООО «Биотроф», Россия), который представляет собой смесь натуральных эфирных масел, обладает антибактериальной активностью, антиоксидантным и противовоспалительным действием, а также благотворно влияет на иммунный статус организма. Снижает вероятность дисбактериоза и других осложнений, вызванных пищевыми и техническими стрессовыми состояниями.

В исследованиях российских ученых (Куванов Т. К., Пименов Н. В., Кореньюга М. В., Найденов Д. А.) было доказано, что введение препарата Пробиоцид®-Фито (дозировка 1 кг/т комбикорма) способствует укреплению защитных сил организма цыплят-бройлеров (способствует синтезу иммуноглобулинов), улучшает уровень реализации их генетического потенциала, о чем свидетельствуют показатели продуктивности птицы опытной группы, получавшей в составе комбикорма Пробиоцид®-Фито [12].

Растительные препараты, содержащие в составе танины, активно применяются в птицеводстве с целью стимуляции активности эндогенных пищеварительных ферментов, оказывая ингибирующее влияние на патогенную флору.

Известен препарат ФАРМАТАН («Танин Севница д.д.», Словения), основой которого является экстракт из древесины сладкого каштана, оказывающий антимикробное воздействие, обладающий антиоксидантной активностью, что было доказано в исследованиях ученых «РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева». Введение фитобиотика в состав комбикормов цыплят-бройлеров в количестве 800 г/т в комбикорм «Старт» и по 400 г/т в комбикорма «Рост» и «Финиш» способствовало повышению живой массы, убойного выхода, массы и выхода грудных мышц, массы ножных мышц и других мясных качеств тушек цыплят-бройлеров [18].

Исследование фитобиотического препарата Метс Плюс (Meth Plus, ООО «Левет-Агро» Республика Беларусь) было организовано на цыплятах кросса Hy-Line в фазе роста и финиша. Птица, получавшая в составе рациона Метс Плюс, по приросту живой массы превосходила стандарты, а однородность стада была более 80 % [40].

Сокращение гибкости иммунитета к заболеваниям различной природы – одна из причин возникновения повышенного падежа птицы. Однако при использовании в кормлении антибиотиков возникает ряд нежелательных побочных эффектов. Поэтому особый интерес представляет использование фитобиотиков для формирования устойчивости организма птицы к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Фитобиотики обладают противовирусным, противомикробным, а также иммуномоделирующим действием [31, 37]. Главное преимущество использования в технологии выращивания птицы растительных добавок заключается в том, что организм не подвергается негативным рискам; возможность их использования в качестве ароматизаторов, стимулирующих аппетит веществ полностью подтверждена многолетними исследованиями, о чем свидетельствует нормативная документация, регулирующая питание в птицеводстве [8].

Ассортимент таких отечественных препаратов постоянно расширяется. Повышение антиоксидантного статуса организма птицы путем оптимизации уровня и качества кормления, особенно путем добавления экзогенных антиоксидантов, полученных из высококачественного растительного сырья, может быть одним из наиболее важных и эффективных средств улучшения здоровья и, следовательно, продуктивности птицы [2, 29].

Нутрицевтики и фитонутриенты в последние годы вызывают большой интерес, выступая как возможная альтернатива противомикробным препаратам и отвечая на высокий спрос на продукты из птицы без антибиотиков [35].

Фитонутриенты обладают свойствами, схожими с антибиотиками: они способствуют ограничению воздействия на организм патогенной микрофлоры, стимулируя иммунитет, оптимизируя кормоконверсию, что благотворно влияет на скорость роста птицы [14, 33, 36].

Разнообразие результатов, представленных в различных испытаниях, подчеркивает сложность эффектов, возникающих при использовании фитобиотических соединений, и потребуются дальнейшие исследования, чтобы выделить механизмы действия, чтобы сделать их использование еще более эффективным в птицеводстве [28].

Ценным фитобиотическим ингредиентом является корица, используемая в виде масла или порошка, которую получают из коры или листьев коричневого дерева. Масло корицы может стимулировать аппетит, усиливать секрецию пищеварительных ферментов, стимулировать иммунитет, обладать противоаллергическими и детоксицирующими свойствами, а также оказывать положительное влияние на снижение уровня сахара в организме [32].

Оно также является противопаразитарным, особенно против желудочно-кишечных паразитов. Учитывая ряд ценных свойств коричневого масла, представляется целесообразным найти наиболее благоприятную дозировку и время внесения этого компонента в воду для кур, что позволит добиться желаемых эффектов, таких как улучшение здоровья кур и повышение эффективности их выращивания [30].

А. А. Овчинников с соавторами (2023) изучали влияние растительного отвара на основе коры осины, ромашки, подорожника и корня одуванчика на показатели продуктивности птицы яичного направления. Авторами установлено, что введение в рацион 5 % разрабатанного фитобиотического препарата позволяет улучшить усвояемость и отложение питательных веществ в теле птицы, что позволит увеличить на 15,2 % яичную продуктивность при снижении кормовых затрат на 13,2 % [19].

В 2022-2023 гг. Завьяловым О. А., Дускаевым Г. К., Курилкиной М. Я. были описаны комплексные исследования по оценке растительного препарата 4-гексилрезорцина при выращивании цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес с 7 до 35-суточного возраста.

Ученые установили, что использование данного препарата в количестве 0,5 мг/кг комбикорма способствует повышению живой массы птицы на 4,1 % и увеличению уровня рентабельности производства мясной продукции птицеводства на 0,94 % [5].

Результаты данных исследований были расширены Дерябиным Д. Г., Дускаевым Е. Н. с соавторами (2024), проведя исследование по количественному определению 4-гексилрезорцина в мышечной ткани птицы мясного направления, авторами была установлена безопасность применения данного препарата [11].

На отечественном комбикормовом рынке представлена добавка растительного происхождения ГербаСтор (Россия, г. Шебекино, научно-технический центр «БИО»), изготавливаемая из микроизмельченных лекарственных трав, которая при введении в программы кормления птицы кросса Браун Ник в фазе яйценоскости в количестве 0,7 кг/т комбикорма способствует увеличению показателя «масса яйца» на 3,6 %; «интенсивность яйценоскости» – на 2,6 % [1].

Исследование данного препарата на цыплятах-бройлерах, выращиваемых при различной плотности посадки, установило, что при введении ГербаСтор Европейский индекс продуктивности повышается на 6,1...7,1 %. При этом наиболее высокий уровень продуктивности птицы составил при плотности посадки 21,5 гол/м³ [15, 16, 17].

По данным Сухановой С. Ф. (2021-2024 гг.) при использовании в технологии выращивания родительского поголовья гусей фитонутриента Лив 52 Вет, сохраняется высокий уровень естественной резистентности организма, что подтверждено лабораторными и научно-хозяйственными исследованиями [20, 21, 22].

Эффективность данного препарата подтверждена и при изучении инкубационных качеств яиц птицы [13].

По мнению Медновой В. В., Ляшук А. Р., Буярова В. С. (2021), «...следует расширить исследования по изучению механизмов действия фитобиотиков на микрофлору желудочно-кишечного тракта, секреторную активность поджелудочной железы, процессы всасывания питательных веществ корма, иммунитет, репродуктивные способности, качество производимой продукции с учетом физиологических особенностей организма, специфики кормления и технологии содержания различных половозрастных групп сельскохозяйственных животных и птицы» [15].

Компания «Фитобиотикс Рус» (Россия, г. Москва) производит растительную кормовую добавку Сангровит WS, которая не требует периода выведения и может быть использована в заключительной фазе кормления, способствует увеличению эффективности производства мяса цыплят-бройлеров на 3,4...6,6 %, что отражено в исследованиях Медновой В. В. (2022) [17].

Одним из видов растительного препарата, обладающего антибактериальной активностью, является экстракт коры дуба [3, 4]. Учеными установлено, что его применение не оказывает негативного воздействия на птицу, напротив, данный фитобиотик благотворно влияет на пищеварение, иммунитет птицы, что отражается в повышении показателей продуктивности [10].

Исследованиями, направленными на изыскание альтернативных противомикробных компонентов, не вызывающих бактериальной резистентности, обладающих ростостимулирующим действием без побочных эффектов, занимались В. И. Фисинин, А. С. Ушаков, Г. К. Дускаев (2018).

Авторы провели научно-хозяйственный опыт на птице отечественного кросса Смена 8, определив потенциал использования растительного экстракта коры дуба в различных дозах (1 мл/кг живой массы; 2 мл/кг живой массы и 3 мл/кг живой массы).

Установлено, что лучшие показатели определены у птицы, которой выпаивали экстракт в дозировке 1 мл/кг живой массы. Сохранность поголовья в данной группе составила 100 % (в остальных группах от 71 до 85 %), а живая масса увеличилась на 1,9 % при сравнении с контрольной группой [6].

Дускаевым Г. К., Казачковой Н. М. с соавт. (2019) был доказан антимикробный эффект от использования экстракта коры дуба, который способствует повышению продуктивности птицы на 3,1...16,6 % при уменьшении комбикормовых затрат на 1 кг прироста птицы на 3,7...9,2 % [7].

На базе УНПЦ «Горная Поляна» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ выращиваются лекарственные растения, которые могут быть использованы в качестве фитобиотических добавок/препаратов.

В центре нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы в перспективе модернизация линии поения цыплят-бройлеров для выпойки фитонутриентами [23] из следующих лекарственных растений: черноголовник многобрачный, скорцонера испанская (богата инулином), кориандр, расторопша, базилик, фенхель, календула, ромашка, пустырник, шалфей лекарственный, укроп, душица, мелисса, мята перечная, шалфей мускатный.

Таким образом, фитобиотики обладают выраженными антимикробными и антиоксидантными свойствами. Они подавляют рост патогенной микрофлоры в кишечнике, снижая риск развития заболеваний. Антиоксиданты, в свою очередь, защищают клетки организма от повреждений, вызванных свободными радикалами.

Включение фитобиотиков в рацион птицы позволяет снизить потребность в антибиотиках, что способствует производству экологически чистой продукции. Исследования показывают, что фитобиотики положительно влияют на рост и развитие птицы, повышают яйценоскость и улучшают качество мяса, оказывая позитивное влияние на качество инкубационного яйца.

Выводы. Подводя итог, можно сказать, что фитобиотики можно эффективно использовать для замены антибиотиков в качестве кормовых добавок для повышения производительности и показателей здоровья птицы для обеспечения продовольственной безопасности, одновременно предотвращая резистентность к антибиотикам. Однако стоит отметить, что количество растительных препаратов/добавок постоянно растет и необходимо детальное изучение их свойств и возможности использования в технологии производства птицеводческой продукции.

Conclusions. In summary, phytobiotics can be effectively used to replace antibiotics as feed additives to improve poultry productivity and health indicators to ensure food security while preventing antibiotic resistance. However, it should be noted that the number of herbal preparations/additives is constantly growing, and it is necessary to study their properties and the possibility of using them in poultry production technology in detail.

Библиографический список

1. Берлинский Ю. Р., Мерзленко Р. А., Кравцова Л. З. Влияние кормовой добавки гербастор на продуктивность и качество яиц кур-несушек. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2023. Т. 255. № 3. С. 71-76.
2. Буяров В. С., Буяров А. В. Эффективность современных технологий в промышленном птицеводстве. Аграрный вестник Верхневолжья. 2021. № 4 (37). С. 24-33.
3. Багиров В. А. и др. Включение экстракта *Quercus cortex* в рацион бройлеров изменяет их убойные показатели и биохимический состав мышечной ткани. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 799-810.
4. Казачкова Н. М. и др. Влияние экстракта *Quercus cortex* на биохимические показатели крови цыплят-бройлеров. Вестник мясного скотоводства. 2017. № 4 (100). С. 213-218.
5. Завьялов О. А., Дускаев Г. К., Курилкина М. Я. Влияние БАД растительного происхождения на продуктивность и показатели крови цыплят-бройлеров. Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 1. С. 34-42.
6. Фисинин В. И. и др. Изменение иммунологических и продуктивных показателей у цыплят-бройлеров под влиянием биологически активных веществ из экстракта коры дуба. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 2. С. 385-392.
7. Дускаев Г. К. и др. Изменение продуктивных качеств цыплят-бройлеров на фоне энзимосодержащей диеты и экстракта *Quercus cortex*. Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 2. С. 125-135.
8. Климова Т. А. и др. Изменение химического состава мышечной ткани бройлеров при скормливании им фитохимических веществ. Птица и птицепродукты. 2024. № 1. С. 65-68.
9. Багно О. А. и др. Использование фитобиотиков, селена, йода и их сочетаний в коневодстве и птицеводстве. Кемерово: Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. 121 с.
10. Казачкова Н. М. Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании экстракта коры дуба в рационе. Мясное скотоводство - приоритеты и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург, 2018. С. 175-177.
11. Дерябин Д. Г. и др. Количественное определение 4-гексилрезорцинола в мышечной ткани цыплят-бройлеров, получавших это соединение в рационе кормления, и эффект его остаточных концентраций на микробиологические характеристики готовой продукции. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2024. Т. 27. № 12. С. 62-71.
12. Куванов Т. К., Пименов Н. В., Коренюга М. В., Найденов Д. А. Иммуностропное действие кормовых добавок на основе метапробиотика и фитобиотика в обеспечении специфического иммунитета цыплят-бройлеров. Аграрная наука. 2024. № 7. С. 49-54.
13. Курская Ю. А., Суханова С. Ф. Изучение качества инкубационных яиц птицы, потреблявшей фитобиотик. Достижения и перспективы развития птицеводства: материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2024. С. 147-150.
14. Буяков Н. П. и др. Продуктивность и переваримость питательных веществ у кур родительского стада при использовании фитобиотика. Ветеринария и кормление. 2023. № 5. С. 11-14.
15. Меднова В. В., Ляшук А. Р., Буяров В. С. Использование фитобиотиков в животноводстве (обзор). Биология в сельском хозяйстве. 2021. № 1 (30). С. 11-16.
16. Меднова В. В., Буяров В. С. Продуктивность цыплят-бройлеров при использовании фитобиотических кормовых добавок. Пища. Экология. Качество: труды XVIII Международной научно-практической конференции. Краснообск: Сибирский ФНЦ агробиотехнологий РАН, 2021. С. 359-363.
17. Меднова В. В., Буяров В. С. Эффективность применения фитобиотических кормовых добавок в технологии производства мяса бройлеров. Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 2 (39). С. 62-67.
18. Буяков Н. П. и др. Мясные качества цыплят-бройлеров при использовании в кормлении экстракта из древесины сладкого каштана. Зоотехния. 2022. № 1. С. 20-24.
19. Овчинников А. А. и др. Продуктивность и переваримость питательных веществ рациона кур-несушек при добавке фитобиотиков. Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства: сборник трудов международной научно-практической конференции. Брянский ГАУ, 2023. Т. 1. С. 129-133.
20. Суханова С. Ф. Естественная резистентность гусей, потреблявших фитобиотик. Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции в условиях международных санкций: сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган: Курганский государственный университет, 2024. С. 113-117.
21. Суханова С. Ф. Конверсия питательных веществ у молодняка гусей. Достижения аграрной науки для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2021. Т. 1. С. 396-401.
22. Суханова С. Ф. Показатели естественной резистентности гусей, потреблявших фитобиотики. Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник статей по материалам V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева, 2021. С. 282-286.
23. Николаев С. И. и др. Технологический суверенитет в автоматизации центра нутригеномики сельскохозяйственных животных. Зоотехния. 2025. № 2. С. 21-25.
24. Буяров В. С. и др. Технология выращивания цыплят-бройлеров с применением пробиотиков, пребиотиков, синбиотиков, фитобиотиков и антиоксидантов. Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства: сборник трудов международной научно-практической конференции. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2024. С. 43-50.
25. Багно О. А. и др. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 687-697.
26. Alghirani M. M., Chung E. L. T., Jesse F. F. A., Sazili A. Q., Loh T. C. Could Phytobiotics replace Antibiotics as Feed Additives to Stimulate Production Performance and Health Status in Poultry? An Overview. Journal of Advanced Veterinary Research. 2021. No 11 (4). Pp. 254-265.
27. Barszcz M., Tuśnio A., Taciak M. Poultry nutrition. Physical Sciences Reviews. 2024. V. 9. № 2. Pp. 611-650.
28. Biagini L., et al. The role of nutraceuticals and phytonutrients in chickens' gastrointestinal diseases. Animals. 2022. V. 12. № 7. P. 892.

29. Drannikov A. V., et al. Phytobiotics as an alternative to antibiotics in feeding farm birds. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 640. № 3. P. 032061.
30. Krauze M., et al. The effect of administration of a phytobiotic containing cinnamon oil and citric acid on the metabolism, immunity, and growth performance of broiler chickens. *Animals*. 2021. V. 11. № 2. P. 399.
31. Krauze M. Phytobiotics, a natural growth promoter for poultry. *Advanced studies in the 21st century animal nutrition*. 2021. V. 8.
32. Krivonogova A. S., et al. Efficiency of phytobiotics in poultry farming. *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences, 2022. V. 53. P. 02005.
33. Lepczyński A., et al. Antibiotics in avian care and husbandry-status and alternative antimicrobials. *Physical Sciences Reviews*. 2024. V. 9. № 2. Pp. 701-753.
34. Mountzouris K. C., Brouklogiannis I. Phytochemicals as natural gut health management tools for sustainable poultry production. *Livestock Science*. 2024. C. 105525.
35. Nechitailo K. S., et al. Causes, mechanisms of development and manifestations of antibiotic resistance in poultry farming, consequences and methods of overcoming. *World's Poultry Science Journal*. 2024. V. 80. № 2. Pp. 453-479.
36. Obianwuna U. E., et al. Phytobiotics in poultry: revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2024. V. 15. № 1. Pp. 1-33.
37. Ogwuegbu M. C., Mthiyane D. M. N. Molecular antioxidant and immunological mechanisms of phytochemicals in the mitigation of aflatoxicosis in poultry. *Journal of Applied Poultry Research*. 2024. P. 100457.
38. Pandey S., et al. Cutting-edge knowledge on the roles of phytobiotics and their proposed modes of action in swine. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023. V. 10. P. 1265689.
39. Shehata A. A., et al. Restoring healthy gut microbiome in poultry using alternative feed additives with particular attention to phytochemical substances: Challenges and prospects. *Ger. J. Vet. Res.* 2022. V. 2. Pp. 32-42.
40. Urban J., et al. Enhancing broiler chicken health and performance: the impact of phytobiotics on growth, gut microbiota, antioxidants, and immunity. *Phytochemistry Reviews*. 2024. Pp. 1-15.

References

1. Berlinsky Y. R., Merzlenko R. A., Kravtsova L. Z. Effect of herbastor feed additive on the productivity and quality of laying hen eggs. *Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman*. 2023. V. 255. № 3. Pp. 71-76.
2. Buyarov V. S., Buyarov A. V. Efficiency of modern technologies in industrial poultry farming. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region*. 2021. № 4 (37). Pp. 24-33.
3. Bagirov V. A. et al. Inclusion of Quercus cortex extract in the diet of broilers changes their lethal indicators and biochemical composition of muscle tissue. *Agricultural biology*. 2018. V. 53. № 4. Pp. 799-810.
4. Kazachkova N. M., et al. Effect of Quercus cortex extract on biochemical blood indicators of broiler chickens. *Bulletin of Beef Cattle Breeding*. 2017. № 4 (100). Pp. 213-218.
5. Zavyalov O. A., Duskaev G. K., Kurilina M. Y. Effect of Plant Dietary Supplements on Productivity and Blood Indicators of Broiler Chickens. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023. V. 23. № 1. Pp. 34-42.
6. Fisinin V. I., et al. Change of immunological and productive indicators in broiler chickens under the influence of biologically active substances from oak bark extract. *Agricultural biology*. 2018. V. 53. № 2. Pp. 385-392.
7. Duskaev G. K., et al. Changing the Productive Qualities of Broiler Chickens on the Background of an Enzyme-Containing Diet and Quercus Cortex Extract. *Animal husbandry and fodder production*. 2019. V. 102. № 2. Pp. 125-135.
8. Klimova T. A., et al. Changes in the chemical composition of broiler muscle tissue when feeding them phytochemicals. *Poultry and poultry products*. 2024. № 1. Pp. 65-68.
9. Bagno O. A., et al. Use of phytobiotics, selenium, iodine and their combinations in horse breeding and poultry farming. *Kemerovo: Kuzbass State Agricultural Academy*, 2021. 121 p.
10. Kazachkova N. M. Morphological Blood Indicators of Broiler Chickens When Using Oak Bark Extract in the Diet. *Beef cattle breeding - priorities and prospects for development: materials of the international scientific and practical conference*. Orenburg, 2018. Pp. 175-177.
11. Deryabin D. G., et al. Quantitative determination of 4-hexylresorcinol in the muscle tissue of broiler chickens receiving this compound in the feeding diet, and the effect of its residual concentrations on the microbiological characteristics of the finished product. *Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2024. V. 27. № 12. Pp. 62-71.
12. Kuvanov T. K., Pimenov N. V., Korenyuga M. V., Naydenov D. A. Immunotropic action of feed additives based on metaprobiotic and phytobiotic in ensuring the specific immunity of broiler chickens. *Agrarian science*. 2024. № 7. Pp. 49-54.
13. Kurskaya Y. A., Sukhanova S. F. Study of the quality of incubation eggs of a bird consuming a phytobiotic. *Achievements and prospects for the development of poultry farming: materials of the international scientific and practical conference*. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University, 2024. Pp. 147-150.
14. Buryakov N. P., et al. Productivity and digestibility of nutrients in chickens of the parent herd when using phytobiotics. *Veterinary Medicine and Feeding*. 2023. № 5. Pp. 11-14.
15. Mednova V. V., Lyashuk A. R., Buyarov V. S. Use of phytobiotics in animal husbandry (review). *Biology in agriculture*. 2021. № 1 (30). Pp. 11-16.
16. Mednova V. V., Buyarov V. S. Productivity of broiler chickens when using phytobiotic feed additives. *Food. Ecology. Quality: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference*. Krasnoobsk: Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, 2021. Pp. 359-363.
17. Mednova V. V., Buyarov V. S. Efficiency of application of phytobiotic feed additives in broiler meat production technology. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region*. 2022. № 2 (39). Pp. 62-67.
18. Buryakov N. P., et al. Meat qualities of broiler chickens when using sweet chestnut wood extract in feeding. *Animal Science*. 2022. № 1. Pp. 20-24.
19. Ovchinnikov A. A. et al. Productivity and digestibility of nutrients in the diet of laying hens with the addition of phytobiotics. *Actual Problems of Veterinary Medicine and Intensive Animal Husbandry: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Bryansk State Agrarian University, 2023. V. 1. Pp. 129-133.

20. Sukhanova S. F. Natural resistance of geese who consumed phytobiotic. Innovative technologies for the production and processing of agricultural products in the context of international sanctions: a collection of articles based on the materials of the II All-Russian (National) Scientific and Practical Conference. Kurgan: Kurgan State University, 2024. Pp. 113-117.
21. Sukhanova S. F. Conversion of nutrients in young geese. Achievements of agrarian science to ensure food security of the Russian Federation. Tyumen: GAU of the Northern Trans-Urals, 2021. V. 1. Pp. 396-401.
22. Sukhanova S. F. Indicators of natural resistance of geese consuming phytobiotics. Actual Problems of Ecology and Nature Management: Collection of Articles on the Materials of the V All-Russian (National) Scientific and Practical Conference. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy named after T. S. Maltsev, 2021. Pp. 282-286.
23. Nikolaev S. I., et al. Technological sovereignty in the automation of the nutrigenomics center of agricultural animals. *Animal Science*. 2025. № 2. Pp. 21-25.
24. Buyarov V. S., et al. Technology of growing broiler chickens with the use of probiotics, prebiotics, synbiotics, phytobiotics and antioxidants. Actual Problems of Veterinary Medicine and Intensive Animal Husbandry: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2024. Pp. 43-50.
25. Bagno O. A., et al. Phytobiotics in feeding agricultural animals. *Agricultural biology*. 2018. V. 53. № 4. Pp. 687-697.
26. Alghirani M. M., Chung E. L. T., Jesse F. F. A., Szali A. Q., Loh T. C. Could Phytobiotics replace Antibiotics as Feed Additives to Stimulate Production Performance and Health Status in Poultry? An Overview. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 2021. No 11 (4). Pp. 254-265.
27. Barszcz M., Tuśnio A., Taciak M. Poultry nutrition. *Physical Sciences Reviews*. 2024. V. 9. № 2. Pp. 611-650.
28. Biagini L., et al. The role of nutraceuticals and phytonutrients in chickens' gastrointestinal diseases. *Animals*. 2022. V. 12. № 7. P. 892.
29. Drannikov A. V., et al. Phytobiotics as an alternative to antibiotics in feeding farm birds. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 640. № 3. P. 032061.
30. Krauze M., et al. The effect of administration of a phytobiotic containing cinnamon oil and citric acid on the metabolism, immunity, and growth performance of broiler chickens. *Animals*. 2021. V. 11. № 2. P. 399.
31. Krauze M. Phytobiotics, a natural growth promoter for poultry. *Advanced studies in the 21st century animal nutrition*. 2021. V. 8.
32. Krivonogova A. S., et al. Efficiency of phytobiotics in poultry farming. *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences, 2022. V. 53. P. 02005.
33. Lepczyński A., et al. Antibiotics in avian care and husbandry-status and alternative antimicrobials. *Physical Sciences Reviews*. 2024. V. 9. № 2. Pp. 701-753.
34. Mountzouris K. C., Brouklogiannis I. Phyto-genics as natural gut health management tools for sustainable poultry production. *Livestock Science*. 2024. C. 105525.
35. Nechitailo K. S., et al. Causes, mechanisms of development and manifestations of antibiotic resistance in poultry farming, consequences and methods of overcoming. *World's Poultry Science Journal*. 2024. V. 80. № 2. Pp. 453-479.
36. Obianwuna U. E., et al. Phytobiotics in poultry: revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2024. V. 15. № 1. Pp. 1-33.
37. Ogwuegbu M. C., Mthiyane D. M. N. Molecular antioxidant and immunological mechanisms of phyto-genics in the mitigation of aflatoxicosis in poultry. *Journal of Applied Poultry Research*. 2024. P. 100457.
38. Pandey S., et al. Cutting-edge knowledge on the roles of phytobiotics and their proposed modes of action in swine. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023. V. 10. P. 1265689.
39. Shehata A. A., et al. Restoring healthy gut microbiome in poultry using alternative feed additives with particular attention to phyto-genic substances: Challenges and prospects. *Ger. J. Vet. Res*. 2022. V. 2. Pp. 32-42.
40. Urban J., et al. Enhancing broiler chicken health and performance: the impact of phytobiotics on growth, gut microbiota, antioxidants, and immunity. *Phytochemistry Reviews*. 2024. Pp. 1-15.

Информация об авторах

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Даниленко Ирина Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: taranova_15@mail.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Карапетыан Анжела Кероповна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Шкаленко Вера Владимировна, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Пономаренко Дмитрий Викторович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: kafedra-kormlenie@mail.ru

Authors' Information

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Danilenko Irina Yuryevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: taranova_15@mail.ru

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Karapetyan Anzhela Keropovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Shkalenko Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Ponomarenko Dmitry Viktorovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kafedra-kormlenie@mail.ru

**THE INFLUENCE OF THE NATURAL PLANT SUBSTANCES ON METABOLISM
IN THE BODY OF CATTLE****Nurzhanov B. S., Atlanderova K. N., Duskaev G. K.***Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Received 21.02.2025

Submitted 17.04.2025

**The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation
No. 22-76-10008 (<https://rscf.ru/project/22-76-10008/>).****Summary**

The article presents experimental data on the effect of vanillin and quercetin in a mixture on metabolism and energy in the body of young cattle. It was found that the introduction of vanillin and quercetin into the main diet in the amount of 1.5 mg and 5.9 mg/kg concentrates, respectively, contributed to an increase in the nitrogen utilization coefficient from the accepted one by 0.68 %, the phosphorus utilization coefficient by 5.62 % and net energy for growth by 0.56 % relative to the control.

Abstract

Introduction. Recently, public awareness of the potential health risks associated with the excessive use of antibiotics and synthetic pharmaceuticals in feeding farm animals has increased. This has provoked a number of experiments to study the use of various types of herbal preparations in feeding beef bulls. **The aim of the study** was to analyze the combined effect of vanillin and quercetin on metabolism and energy processes in young cattle. **Materials and methods.** The physiological experiment was carried out on Kazakh White-Headed bulls aged 1.1 years and weighing 330 kg. Bulls from the control group (n = 3) were given a farm set of feed, while the experimental group (n = 3) in addition to the basic diet were supplemented with vanillin and quercetin in the amount of 1.5 mg and 5.9 mg per kilogram of the specified concentrates. The basic diet (BR) feed set consisted of 4.5 kg of mixed grass hay, 5 kg of alfalfa hay, 3 kg of grain mixtures, 1 kg of wheat bran, 0.038 kg of salt and 0.04 kg of premix. The work was completed in 2024. The duration of the physiological experiment was one month. **Results and conclusions.** Due to better feed consumption, the animals of the experimental group received more nitrogen-free extractive substances – by 2.06 %, dry matter – by 2.31 %, crude fat – 2.26 %, exchange energy – 2.11 %, crude protein – 2.16 %. Despite the higher level of nitrogen metabolism in animals of the experimental group through excrement, they accumulated this element in their bodies by an additional 2.53 grams, which is 5.31 % of the total. The experimental group individuals demonstrated the maximum level of calcium and phosphate absorption, exceeding the control group indicators by 0.48 and 5.62 %, which is statistically significant ($p \leq 0.05$). The control animals demonstrated a decrease in energy costs for growth relative to their peers in the experimental group by 0.56 %. The test individuals demonstrated a higher level of energy metabolism utilization compared to the control indicators by 1.61 %. The introduction of vanillin and quercetin in the main diet in the amount of 1.5 mg and 5.9 mg/kg concentrates, respectively, contributed to an increase in the nitrogen utilization coefficient from that received with feed by 0.7 %, the net energy indicator for growth was 0.6 %, and the efficiency of phosphorus component conversion by 5.62 % compared to the control group.

Keywords: cattle rations, cattle metabolism, natural feed additives, biologically active feed components.**Citation.** Nurzhanov B. S., Atlanderova K. N., Duskaev G. K. The influence of the natural plant substances on metabolism in the body of cattle. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 267-273 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-29.**Author's contribution.** All authors of the study were directly involved in planning, conducting the experiment and analyzing the results. The authors of this article have read the final version and approved it.**Conflict of interest.** All authors declare no conflict of interest.

УДК 636.084: 637.085.55

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ
НА МЕТАБОЛИЗМ В ОРГАНИЗМЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА****Нуржанов Б. С., доктор сельскохозяйственных наук
Атландерова К. Н., кандидат биологических наук
Дускаев Г. К., доктор биологических наук, доцент***ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
г. Оренбург, Российская Федерация***Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда
№ 22-76-10008 (<https://rscf.ru/project/22-76-10008/>).**

Актуальность. В последнее время возросла осведомленность общественности о потенциальных рисках для здоровья, связанных с чрезмерным использованием антибиотиков и синтетических фармацевтических препаратов при кормлении сельскохозяйственных животных. Это спровоци-

ровало ряд экспериментов по изучению применения разнообразных видов фитопрепаратов в кормлении бычков мясного направления продуктивности. **Цель исследования** – анализ совокупного влияния ванилина и кверцетина на метаболизм и энергетические процессы у молодых особей крупного рогатого скота. **Материалы и методы.** Физиологический опыт выполнялся на бычках казахской белоголовой породы в возрасте 1,1 год и весом 330 кг. Бычкам из контрольной группы ($n=3$) задавали хозяйственный набор кормов, тогда как группе опытной ($n=3$) помимо основного рациона добавлялись ванилин и кверцетин в количестве 1,5 мг и 5,9 мг на каждый килограмм заданных концентратов. Набор кормов основного рациона (ОР) состоял из 4,5 кг сена из разнотравья, 5 кг сена из люцерны, 3 кг зерновых смесей, 1 кг пшеничных отрубей, 0,038 кг соли и 0,04 кг премикса. Работа была выполнена в 2024 году. Продолжительность физиологического опыта составила один месяц. **Результаты и выводы.** В связи с лучшим потреблением кормов животные опытной группы приняли больше безазотистых экстрактивных веществ – на 2,06 %, сухого вещества – на 2,31 %, сырого жира – 2,26 %, обменной энергии – 2,11 %, сырого протеина – 2,16 %. Несмотря на высокий уровень азотистого обмена у животных экспериментальной группы через экскременты, они накапливали этот элемент в своем организме дополнительно на 2,53 грамма, что составляет 5,31 % от общего показателя. У особей экспериментальной группы наблюдался максимальный уровень усвоения кальция и фосфата, превышающий показатели контрольной группы на 0,48 и 5,62 %, что статистически значимо ($p \leq 0,05$). Животные из контрольной группы демонстрировали снижение энергетических затрат на рост относительно сверстников из экспериментальной группы на величину 0,56 %. У испытуемых особей наблюдался более высокий уровень утилизации энергетического обмена по сравнению с контрольными показателями на величину 1,61 %. Введение в основной рацион ванилина и кверцетина в количестве соответственно 1,5 мг и 5,9 мг/кг концентратов способствовало увеличению коэффициента использования азота от поступившего с кормами на 0,7 %, чистого энергетического показателя на рост составило 0,6 %, и эффективность преобразования фосфорного компонента на 5,62 % по сравнению с контрольной группой.

Ключевые слова: рационы КРС, метаболизм КРС, натуральные кормовые добавки, биологически активные компоненты кормов.

Цитирование. Нуржанов Б. С., Атландерова К. Н., Дускаев Г. К. Влияние природных растительных веществ на метаболизм в организме крупного рогатого скота. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 267-273. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-29.

Авторский вклад. Все авторы проведенного исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении эксперимента и анализе полученных результатов. Авторы данной статьи ознакомлены с окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В нынешних обстоятельствах разведения животных многочисленные внешние факторы являются серьезными проблемами, с которыми сталкивается животноводство в стремлении обеспечить благополучие животных. Длительное применение росто-стимулирующих химических препаратов при выращивании скота и возможность их переноса в продукцию порождает недовольство населения. Закрепление данного факта на законодательном уровне породило множество вопросов по замещению потенциально негативных препаратов при выращивании молодняка в профилактических целях [1-4]. Лекарственные растения имеют неоспоримые достоинства, такие как природность, органическая основа, содержат мало остаточных веществ, не загрязняют окружающую среду и являются возобновляемыми [5]. Кроме того, в современных сельскохозяйственных системах ключевую роль играют экологические аспекты и здоровье нации, в результате чего подход, направленный на разработку кормов и добавок для животных на основе природных биологически активных компонентов с противомикробными, антиоксидантными, противовоспалительными и противоопухолевыми свойствами, получил более широкое признание [6, 7].

Использование лекарственных растений в качестве натуральных кормовых добавок для оптимизации производства продукции от жвачных животных будет во многом зависеть от типов биологически активных компонентов. При использовании растительных добавок на основе биологически активных компонентов в рационах жвачных животных следует учитывать оптимальную дозировку и продолжительность кормления [8-10]. Эти вторичные метаболиты извлекаются из различных частей многих видов растений и используются в качестве кормовых добавок и глистогонных средств. Недавние исследования, посвященные использованию эфирных масел, полифенолов и сапонинов в качестве пищевых добавок и глистогонных средств, показывают, что они могут не только повысить продуктивность и улучшить здоровье жвачных животных, но и обеспечить безопасность получаемых продуктов [11-13]. Существует множество публикаций о положительном влиянии биоактивных компонентов растений на жвачных животных, однако исследования отдельных биологиче-

ски активных компонентов каждого набора вторичных метаболитов растений и их эффективность в комплексе в качестве кормовых добавок в рационах жвачных животных пока не получило широкого распространения.

Цель исследования состояла в том, чтобы изучить комплексное действие ванилина и кверцетина на обмен веществ и энергии в организме молодняка крупного рогатого скота.

Достигая намеченную цель, решали определённые задачи:

- исследовали влияние комплексного фитохимического препарата на поедаемость кормов у бычков;

- изучали баланс и использование азота, энергии, кальция и фосфора у бычков.

Материалы и методы. Место проведения исследования – виварий и Центр коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (<https://ckp-rf.ru/ckp/77384/>).

Объекты исследования: бычки казахской белоголовой породы в возрасте 13 месяцев и живой массой 330 кг, фитохимические вещества: ванилин (ВН) и кверцетин (КВ);

Ванилин – фенольный альдегид с гидроксильной и эфирной группами у ароматического кольца с молярной массой – 152,15 г/моль (производитель: Acros Organics); кверцетин – флавоноидное соединение с молярной массой 302,24 г/моль (производитель: Acros Organics).

Длительность физиологического исследования состояла из 18 суток, в том числе учетного – 8 суток. Бычки находились в стандартных стойлах на привязи, где функционировали автопоилки. Набор кормов основного рациона (ОР) состоял из 4,5 кг сена из разнотравья, 5 кг сена из люцерны, 3 кг зерновых смесей, 1 кг пшеничных отрубей, 0,038 кг соли и 0,04 кг премикса. Животные контрольной группы (n=3) получали ОР, опытной (n=3) – ОР + Ванилин в дозировке 1,5 мг/кг концентрированной части рациона и кверцетин в дозировке 5,9 мг/кг концентрированной части рациона.

Химический анализ был проведен на образцы кормов, остатки грубых кормов и биологические материалы, включая измерение содержания сухих веществ (ГОСТ 31640-2012), жировых компонентов (ГОСТ 13496.15-2016), протеина (ГОСТ 13496.4-2019), клетчатки (ГОСТ 31675-2012) и минеральных составляющих (ГОСТ 26226-97) согласно стандартным процедурам зоотехнической экспертизы. Исходя из анализа химических компонентов проб определяли энергетические затраты, азотистый обмен, а также баланс кальция и фосфора у исследуемых особей.

Для статистической обработки данных использовалась программа "Statistica 10 RU".

Результаты и обсуждение. В ходе физиологических исследований установлено, что скармливание комплексного фитохимического препарата улучшало поедаемость кормов. Наиболее высокая поедаемость кормов была отмечена в опытной группе.

При равном потреблении концентрированных кормов бычки опытных групп по сравнению с аналогами из контрольной потребили сена разнотравного на 3,33 %.

В итоге различия в усвоении кормов повлияли на уровень полезных компонентов в реальном пищевом наборе животных. Животные из экспериментальной группы потребляли на 255 грамм больше сухого вещества (что составляет 2,31 %), энергии обмена – на 2,08 МДж (2,11 %), сырого протеина – на 29 г (2,16 %), сырого жира – на 7,5 г (2,26 %), сырой клетчатки – 77,1 г (3,03 %), безазотистых экстрактивных веществ – 125,2 г (2,06 %), кальция – на 2,49 г (3,05 %) и фосфора на 0,6 г (1,53 %) относительно контроля.

По сравнению с традиционными химическими препаратами растительные экстракты уникальны в борьбе с воспалением и окислительным стрессом. Кроме того, они комплексно улучшают состояние здоровья животных, повышая их иммунитет, достигая стандартов здорового разведения, которые предотвращают заболевания животных, и улучшают как продуктивность животных, так и качество продукции [14, 15].

Анализ метаболизма азотсодержащих веществ у экспериментальных особей показал существующие модификации (таблица 1).

Хотя животные опытной группы выделяли с калом и мочой больше азота по сравнению с контрольной, они откладывали его в теле лучше на 2,53 г или 5,31 %. В связи с этим у бычков из экспериментальной группы показатели усвоения азота превышали контрольные значения на 0,68 и 0,12 %, учитывая оба аспекта – принятый и переваренный азот.

Таблица 1 – Соотношение азотистых веществ в теле бычков, г/гол/сут ($M \pm m$) ($n=3$)
 Table 1 – The ratio of nitrogenous substances in the body of bulls, g/head/day ($M \pm m$) ($n=3$)

Показатель / Index	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
Поступило с кормами / Received with feed	215,16 $\pm$ 1,5	219,77 $\pm$ 2,1
Выделено из организма / Excreted from the body	79,34 $\pm$ 0,6	141,43 $\pm$ 1,3*
Переварено / Digested	135,82 $\pm$ 1,3	142,53 $\pm$ 1,9**
Выделено в моче / Excreted in urine	88,14 $\pm$ 0,9	92,32 $\pm$ 1,7
Отложено: на 1 голову / Deposited: per 1 head	47,68 $\pm$ 1,4	50,21 $\pm$ 2,1**
на 100 кг живой массы / per 100 kg of live weight	13,06 $\pm$ 1,8	13,64 $\pm$ 0,6
Коэффициент использования: / Utilization coefficient: от принятого / utilization coefficient: from ingested	22,16 $\pm$ 0,7	22,84 $\pm$ 0,9
от переваренного / from digested	35,10 $\pm$ 1,3	35,22 $\pm$ 1,4

При использовании изучаемых добавок отмечено улучшение усвоения азотистых компонентов рациона, а также зафиксирована положительная динамика баланса азота у всех испытуемых животных. Растительные органические соединения, извлекаемые из флоры, представляют собой многообещающие природные компоненты для их применения в кормлении жвачных с целью стимуляции функций рубца, увеличения потребления сырого протеина и энергии [16].

Кальций и фосфор являются ключевыми макроэлементами, значение которых для здоровья животных невозможно недооценивать. Основной участок усвоения кальция и фосфата в пищеварительной системе крупного рогатого скота приходится на тонкую кишку, аналогично ситуации у однокамерных жвачных. Уровень кальция и фосфата в теле млекопитающих контролируется тремя гормонами: тирокальцитропином, кальцитонином и активированным витамином D [17].

В процессе проведенных экспериментов нами были зафиксированы специфические сдвиги в кальциевом метаболизме у бычков (рисунок 1).

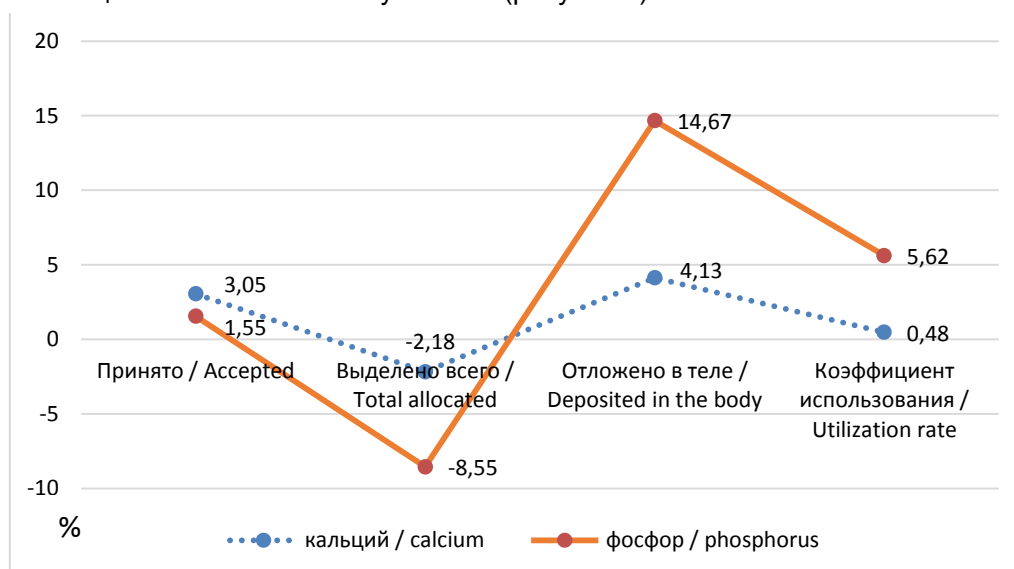


Рисунок 1 – Изменения баланса минеральных веществ в организме опытных животных относительно контрольной группы, г/гол/сутки ($n=3$)

Figure 1 – Changes in the balance of minerals in the body of experimental animals relative to the control group, g/head/day ($n=3$)

Животные опытной группы по сравнению с контрольной хотя и выделяли с калом и мочой кальция больше на 2,18 % ($P \leq 0,05$), однако откладывали его в теле достоверно больше на 4,13 % ($P \leq 0,01$). Бычки контрольной группы уступали аналогам из опытной по коэффициенту использования кальция на 0,48 %.

Из-за того, что представители экспериментальных групп потребляли больший, объем грубой пищи по сравнению со своими аналогами из контрольной группы, уровень поступления фосфора у особей экспериментальной группы возрос на 0,61 %.

У молодняка контрольной группы наблюдалась меньшая способность накапливать фосфор в теле – отставание составило 2,51 грамма, что эквивалентно снижению на 14,67 %, при статистической значимости ($P \leq 0,01$) относительно сверстников контрольной. В группе эксперимента отмечено максимальное потребление фосфата животными, превышающее аналогичное значение в контрольной группе на 5,62 %, что статистически значимо ($P \leq 0,05$).

Повышение усвоения рациона и продуктивности обусловлено разнообразием факторов, включая обеспечение тела необходимыми элементами питания и энергетическими ресурсами. Согласно разным расчетам, эффективность производства у животноводческих объектов составляет 70 % благодаря поглощению пищи и 30 % за счет ее усвоения. Это обусловило наше стремление исследовать энергопотребление бычками (таблица 2).

Таблица 2 – Характер использования энергии бычками, МДж/гол/сутки ($M \pm m$) ($n=3$)

Table 2 – Energy use patterns of bulls, MJ/head/day ($M \pm m$) ($n=3$)

Показатель / Index	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
Энергия: валовая / Energy: gross	202,52 $\pm$ 2,2	207,23 $\pm$ 4,6*
Переваримая / Digestible	134,10 $\pm$ 2,3	170,93 $\pm$ 1,8**
Обменная / Exchangeable	110,12 $\pm$ 1,1	116,02 $\pm$ 3,2*
Обменная энергия сверхподдержания / Exchangeable energy of super-maintenance	69,68 $\pm$ 0,7	75,38 $\pm$ 0,4
Чистая энергия прироста / Net energy of growth	12,59 $\pm$ 0,3	12,65 $\pm$ 0,15
Коэффициент использования обменной энергии от валовой, % / Coefficient of utilization of exchangeable energy from gross, %	54,37 $\pm$ 0,2	55,98 $\pm$ 0,1*

За счет более высокой поедаемости поступление валовой энергии с кормами в организм бычков опытной группы было на 4,71 МДж или 2,32 % выше, чем в контроле. Поскольку переваримость основных питательных веществ была выше у особей экспериментальной группы потребление перевариваемой и метаболической энергии превышало показатели контрольной группы на 27,4 % и 5,35 % ($P \leq 0,01$) соответственно.

У животных из контрольного набора наблюдалась меньшая энергетическая эффективность роста по сравнению со сверстниками из экспериментальной группы на величину 0,56 %. У испытуемых особей наблюдался рост коэффициента утилизации обмена веществ по сравнению с контрольными показателями на величину 1,61 %. Добавление фитосубстанций к основному набору кормов способствовало улучшению обмена питательных элементов и минералов у жвачных экспериментальных групп, что говорит о тенденции к увеличению их продуктивности.

Схожие данные получили Mendoza-Cortéz D. A. et al. (2022), которые изучали влияние введения в основной рацион дополнительной смеси эфирных масел (ванилин, тимол, эвгенол,) на продуктивность крупного рогатого скота, и результаты показали, что добавление смеси растительных веществ уменьшало вредное воздействие внешних факторов, увеличивая ежедневный прирост веса на 8,3 %, что было связано с увеличением использования энергии с пищей на 3 % по сравнению с контрольными бычками [18].

Выводы. На основании полученных экспериментальных данных по определению эффективности использования ванилина и кверцетина в качестве кормовой добавки бычкам казахской белоголовой породы установлено положительное влияние на обмен веществ и энергии. Так введение в основной рацион ванилина и кверцетина в количестве соответственно 1,5 мг и 5,9 мг/кг концентратов способствовало увеличению коэффициента использования азота от принятого на 0,68 %, коэффициента использования фосфора на 5,62 % и чистой энергии на прирост на 0,56 % относительно контроля.

Conclusions. Based on the obtained experimental data on determining the efficiency of using vanillin and quercetin as a feed additive for Kazakh white-headed bulls, a positive effect on metabolism and energy was established. Thus, the introduction of vanillin and quercetin in the main diet in the

amount of 1.5 mg and 5.9 mg/kg concentrates, respectively, contributed to an increase in the nitrogen utilization coefficient from the accepted one by 0.68 %, the phosphorus utilization coefficient by 5.62 % and net energy for gain by 0.56 % relative to the control.

Библиографический список

1. Minyu Piao, et al. Advances in the Application of Phytogetic Extracts as Antioxidants and Their Potential Mechanisms in Ruminants. *Antioxidants* (Basel). 2023. No 12 (4). P. 879.
2. Procházková D., Boušová I., Wilhelmová N. Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia*. 2011. No 82. Pp. 513-523.
3. Mingmongkolchai S., Panbangred W. Bacillus probiotics: An alternative to antibiotics for livestock production. *J. Appl. Microbiol.* 2018. No 124. Pp. 1334-1346.
4. Sadiq M. B., Syed-Hussain S. S., Ramanan S., Saharee A., Ahmad N., Zin N. M., Khalid S., Naseeha D., Syahirah A., Mansor R. Knowledge, attitude and perception regarding antimicrobial resistance and usage among ruminant farmers in Selangor, Malaysia. *Prev. Vet. Med.* 2018. No 156. Pp. 76-83.
5. Frankic T., Voljč M., Salobir J., Rezar V. Use of herbs and spices and their extracts in animal nutrition. *Acta Agric. Slov.* 2009. No 94. Pp. 95-102.
6. Julaeha J., Ramdani D., Setyowati E.Y. The effect of *Jatropha multifida* L. as a natural dietary additive on anthelmintic activity and performance in lambs infected by *Trichostrongylus* spp. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2021. No 45. Pp. 21-27.
7. Ramdani D., Budinuryanto D. C., Mayasari N. The effect of paddy straw and concentrate containing green tea dust on performance and nutrient digestibility in feedlot lambs. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2020. No 44. Pp. 668-674.
8. Atlanderova K., Shoshin D., Kazaev K. Amino acid status and nitrogen forms of rumen contents in vitro when phytogetic components are added to the reaction medium. X International Conference on Advanced Agriotechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024). Les Ulis, 2024. P. 02006.
9. Moalin M., van Strijdonck G. P. F., Beckers M., Hagemen G. J., Borm P. J., Bast A., Haenen G. R. M. M. A planar conformation and the hydroxyl groups in the B and C rings play a pivotal role in the antioxidant capacity of quercetin and quercetin derivatives. *Molecules*. 2011. No 16. Pp. 9636-9650.
10. Diky Ramdani, et al. Roles of Essential Oils, Polyphenols, and Saponins of Medicinal Plants as Natural Additives and Anthelmintics in Ruminant Diets: A Systematic Review. *Animals* (Basel). 2023. No 13 (4). 767.
11. Bodas R., Prieto N., García-González R., Andrés S., Giráldez F. J., López S. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2012. No 176. Pp. 78-93.
12. Ramdani D., Chaudhry A. S., Seal C. J. Alkaloid and polyphenol analyses by HPLC in green and black teas powders and their potential as additives in ruminant diets. *AIP Conf. Proc.* 2018. 1927:030008.
13. Yin Y., Yang Z. Research and prospect of natural plant substitute for antibiotic growth promoters in feed. *Feed Ind.* 2020. No 41. Pp. 1-7.
14. Атландерова К. Н., Власенко Л. В., Дускаев Г. К. Оценка действия биовита и коричневого альдегида на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2024. № 112. С. 201-207.
15. Formica J. V., Regelson W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. *Food Chem Toxicol.* 1995. No 33 (12). Pp. 1061-1080.
16. Procházková D., Boušová I., Wilhelmová N. Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia*. 2011. No 82 (4). Pp. 513-523.
17. Булгакова Г. Рацион коров: важность кальций-фосфорного отношения. *Комбикорма*. 2014. № 3. С. 85-87.
18. Mendoza-Cortéz D. A., Ramos-Méndez J. L., Arteaga-Wences Y., Félix-Bernal A., Estrada-Angulo A., Castro-Pérez B. I., Urias-Estrada J. D., Barreras A., Zinn R. A., Plascencia A. Influence of a supplemental blend of essential oils plus 25- hydroxy-vitamin-D3 on feedlot cattle performance during the early-growing phase under conditions of high-ambient temperature. *Indian J. Anim. Res.* 2022. 57. Pp. 1-6.

References

1. Minyu Piao, et al. Advances in the Application of Phytogetic Extracts as Antioxidants and Their Potential Mechanisms in Ruminants. *Antioxidants* (Basel). 2023. No 12 (4). P. 879.
2. Procházková D., Boušová I., Wilhelmová N. Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia*. 2011. No 82. Pp. 513-523.
3. Mingmongkolchai S., Panbangred W. Bacillus probiotics: An alternative to antibiotics for livestock production. *J. Appl. Microbiol.* 2018. No 124. Pp. 1334-1346.
4. Sadiq M. B., Syed-Hussain S. S., Ramanan S., Saharee A., Ahmad N., Zin N. M., Khalid S., Naseeha D., Syahirah A., Mansor R. Knowledge, attitude and perception regarding antimicrobial resistance and usage among ruminant farmers in Selangor, Malaysia. *Prev. Vet. Med.* 2018. No 156. Pp. 76-83.
5. Frankic T., Voljč M., Salobir J., Rezar V. Use of herbs and spices and their extracts in animal nutrition. *Acta Agric. Slov.* 2009. No 94. Pp. 95-102.
6. Julaeha J., Ramdani D., Setyowati E.Y. The effect of *Jatropha multifida* L. as a natural dietary additive on anthelmintic activity and performance in lambs infected by *Trichostrongylus* spp. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2021. No 45. Pp. 21-27.
7. Ramdani D., Budinuryanto D. C., Mayasari N. The effect of paddy straw and concentrate containing green tea dust on performance and nutrient digestibility in feedlot lambs. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2020. No 44. Pp. 668-674.
8. Atlanderova K., Shoshin D., Kazaev K. Amino acid status and nitrogen forms of rumen contents in vitro when phytogetic components are added to the reaction medium. X International Conference on Advanced Agriotechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024). Les Ulis, 2024. P. 02006.
9. Moalin M., van Strijdonck G. P. F., Beckers M., Hagemen G. J., Borm P. J., Bast A., Haenen G. R. M. M. A planar conformation and the hydroxyl groups in the B and C rings play a pivotal role in the antioxidant capacity of quercetin and quercetin derivatives. *Molecules*. 2011. No 16. Pp. 9636-9650.

10. Diky Ramdani, et al. Roles of Essential Oils, Polyphenols, and Saponins of Medicinal Plants as Natural Additives and Anthelmintics in Ruminant Diets: A Systematic Review. *Animals* (Basel). 2023. No 13 (4). 767.
11. Bodas R., Prieto N., García-González R., Andrés S., Giraldez F. J., López S. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2012. No 176. Pp. 78-93.
12. Ramdani D., Chaudhry A. S., Seal C. J. Alkaloid and polyphenol analyses by HPLC in green and black teas powders and their potential as additives in ruminant diets. *AIP Conf. Proc.* 2018. 1927:030008.
13. Yin Y., Yang Z. Research and prospect of natural plant substitute for antibiotic growth promoters in feed. *Feed Ind.* 2020. No 41. Pp. 1-7.
14. Atlanderova K. N., Vlasenko L. V., Duskaev G. K. Assessment of the effect of biovit and cinnamaldehyde on the degree of feed digestibility and bovine rumen microbiome. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2024. № 112. Pp. 201-207.
15. Formica J. V., Regelson W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. *Food Chem Toxicol.* 1995. No 33 (12). Pp. 1061-1080.
16. Procházková D., Boušová I., Wilhelmová N. Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia.* 2011. No 82 (4). Pp. 513-523.
17. Bulgakova G. Diet of cows: the importance of calcium-phosphorus ratio. *Feed.* 2014. № 3. Pp. 85-87.
18. Mendoza-Cortéz D. A., Ramos-Méndez J. L., Arteaga-Wences Y., Félix-Bernal A., Estrada-Angulo A., Castro-Pérez B. I., Urias-Estrada J. D., Barreras A., Zinn R. A., Plascencia A. Influence of a supplemental blend of essential oils plus 25-hydroxy-vitamin-D3 on feedlot cattle performance during the early-growing phase under conditions of high-ambient temperature. *Indian J. Anim. Res.* 2022. 57. Pp. 1-6.

Информация об авторах

Нуржанов Баер Серекпаевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Атландерова Ксения Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: atlander-kn@mail.ru

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

Authors' Information

Nurzhanov Baer Serepaeovich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvary St., 29), e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Atlanderova Ksenia Nikolaevna, Candidate of Biological Sciences, Research Fellow, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvary St., 29), e-mail: atlander-kn@mail.ru

Duskaev Galimzhan Kalikhanovich, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 January St., 29), e-mail: gduskaev@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-30

THE EFFECTIVENESS OF CRYOPROTECTANTS IN THE FERTILIZATION OF RUSSIAN STURGEON CAVIAR

¹Randelin D. A., ¹Davudova T. M., ¹Vorontsova E. S., ²Novokschenova A. I.,
¹Kravchenko Yu. V.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Nizhnevolzhsky Department of State Control, Supervision, Protection of Aquatic Biological Resources
and Environment and Habitat
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: davudovaturkan@mail.ru

Received 09.03.2025

Submitted 22.05.2025

Research was carried out within the framework of the consortium "Agropriority 2030" on the topic: "Development of optimized schemes for the use of alternative protein raw materials of microbial synthesis (gaprin) for rainbow trout, sterlet and tilapia, comprehensive physiological-biochemical, or technical and economic justification of its application in aquaculture".

Summary

The article examines cryoprotectants that play an important role in the process of preserving genetic material, especially in aquaculture, where it is necessary to ensure high quality and viability of eggs. In this article, we examined in detail the effectiveness of cryoprotectants used in the fertilization of eggs of Russian sturgeon, one of the most valuable sturgeon species in Russia.

Abstract

Introduction In recent years, the issues of fisheries development have become particularly relevant. This is due to the alarming dynamics of sturgeon population decline, compounded by the growing global demand for sturgeon products. Among the key areas of biodiversity conservation are the harvesting of natural reservoirs and the development of aquaculture, the effectiveness of which can be significantly increased thanks to modern reproductive biotechnologies. Despite the recognized importance of sperm cryopreservation as a tool for preserving the gene pool of the Russian sturgeon, a highly effective technique for its artificial reproduction has not yet been developed. In this regard, the analysis of sperm quality is of particular importance, which makes it possible to assess the effect of cryogenic freezing on sperm viability. Cryopreservation of sexual products of valuable commercial species opens up new prospects for the sustainable production of high-quality fish products. **Object.** The object of the study is the spermatozoa of the Russian sturgeon. **Materials and methods.** The studies were conducted at the Research Center for Breeding Valuable Sturgeon Breeds of the Volgograd State Agrarian University in 2021-2024, and in the chemical laboratory of the Department of Chemistry and Microbiology of the Volgograd State Agrarian University. Cryogenic environments for the study were prepared 1 day before use. The study was based on the methodology of Tsvetkova et al. The collection, insertion into the Dewar vessel and storage of samples were carried out in accordance with the "Regulations on the low-temperature collection genetic bank of fish sperm" (1996) and the "Procedure for collection and placement in a low-temperature bank of genetic collections of fish sperm" (1996), approved by the Interdepartmental Ichthyological Commission. Caviar was obtained during life. Experimental groups for assessing fertilization were formed on the basis of several tested innovative compositions of cryogenic environments for freezing sperm using a standard freezing protocol. Before freezing, sperm was assessed by the following parameters: volume, concentration, motility, morphology and membrane integrity. **Results and conclusions.** As a result of the experiment, data were obtained on the high quality of sperm obtained after cryopreservation using cryogenic environment No. 8, which has the following composition: sucrose – 0.05 %, potassium chloride – 0.15 %, methanol – 6 %, glycerin – 0.05 %, soy lecithin – 1 %, ethylmethyldihydroxypyridine succinate 0.1 mM, acetylcysteine – 0.1 mM, distilled water is the rest, as well as cryogenic environment No. 1, made according to the method of L. I. Tsvetkova. The highest percentage of fertilization after cryopreservation of caviar of Russian sturgeon caviar (51.8 %) was obtained using cryogenic environment No. 8.

Keywords: Russian sturgeon, cryogenic environments, fertilization of Russian sturgeon eggs, aquaculture, cryopreservation, biotechnology, fish reproduction.

Citation Randelin D. A., Davudova T. M., Vorontsova E. S., Novokshchenova A. I., Kravchenko Yu. V. The effectiveness of cryoprotectants in the fertilization of Russian sturgeon caviar. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 273-278 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-30.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 639.3.034

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КРИОПРОТЕКТОРОВ ПРИ ОПЛОДОТВОРЕНИИ ИКРЫ РУССКОГО ОСЕТРА

¹Ранделин Д. А., доктор биологических наук, доцент

¹Давудова Т. М., преподаватель

¹Воронцова Е. С., кандидат биологических наук,

²Новокшченнова А. И., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Кравченко Ю. В., кандидат сельскохозяйственных наук

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²Нижневолжский отдел государственного контроля, надзора, охраны водных биоресурсов и среды обитания
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках консорциума «Агроприоритет 2030» по теме: «Разработка оптимизированных схем использования альтернативного белкового сырья микробного синтеза «Гаприн» для радужной форели, стерляди и тилапии, комплексное физиолого-биохимическое, зоотехническое и экономическое обоснование его применения в аквакультуре».

Актуальность. В последние годы вопросы развития рыбного хозяйства приобретают особую актуальность. Это связано с тревожной динамикой сокращения популяций осетровых, усугубляемой растущим мировым спросом на осетровую продукцию. Среди ключевых направлений сохранения биоразнообразия – зарыбление естественных водоемов и развитие аквакультуры, эффективность которых может быть значительно повышена благодаря современным репродуктивным биотехнологиям. Несмотря на признанную значимость криоконсервации спермы как инструмента сохранения генофонда русского осетра, до сих пор не разработана высокоэффективная методика его искус-

ственного воспроизводства. В этой связи особую важность приобретает анализ качества спермы, позволяющий оценить влияние криогенного замораживания на жизнеспособность сперматозоидов. Криоконсервация половых продуктов ценных промысловых видов открывает новые перспективы для устойчивого производства высококачественной рыбной продукции. **Объект.** Объектом исследования являются сперматозоиды русского осетра. **Материалы и методы.** Исследования проводили в НИЦ «Разведение ценных пород осетровых» в 2020-2023 гг. и в химической лаборатории кафедры «Химия и микробиология» ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет. Криосреды для проведения исследования были приготовлены за 1 сутки до использования. В основу исследования легла методика Цветковой Л. И. с соавторами. Сбор, закладку в сосуд Дьюара и хранение образцов проводили в соответствии с Положением о коллекционном генетическом низкотемпературном банке спермы рыб (1996) и Порядком сбора и закладки в низкотемпературный банк генетических коллекций спермы рыб (1996), утвержденным Межведомственной ихтиологической комиссией. Получение икры проводилось прижизненным способом. Опытные группы для оценки оплодотворяемости формировались на основании нескольких испытуемых инновационных составов криосред для замораживания спермы с использованием стандартного протокола замораживания. Перед замораживанием сперма оценивалась по параметрам: объем, концентрация, подвижность, морфология и целостность мембраны. **Результаты и выводы.** В результате опыта получены данные о высоком качестве спермиев, полученных после криоконсервации, при применении разбавителя № 8, имеющего состав: сахара – 0,05 %, хлорид калия – 0,15 %, метанол – 6 %, глицерин – 0,05 %, соевый лецитин – 1 %, этилметилдигидроксипиридинасукцинат – 0,1 мМ, ацетилцистеин – 0,1 мМ, дистиллированная вода; а также среды № 1, изготовленной по методике Л. И. Цветковой. Наибольший процент оплодотворяемости икры русского осетра (51,8 %) получен при применении криосреды № 8.

Ключевые слова: русский осетр, криосреды, оплодотворение икры русского осетра, аквакультура, криоконсервация, биотехнологии, репродукция рыб.

Цитирование Ранделин Д. А., Давудова Т. М., Воронцова Е. С., Новокщёнова А. И., Кравченко Ю. В. Эффективность криопротекторов при оплодотворении икры русского осетра. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 273-278. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-30.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Разведение осетровых рыб, обладающих высокой ценностью в качестве источника икры и мяса, является важным экономическим и экологическим направлением. Однако сохранение генетического разнообразия осетров и производство высококачественной икры требуют эффективных методов воспроизводства. Разморозка спермы и оплодотворение имеют решающее значение в этом процессе. Несмотря на то, что криоконсервация спермы, по общему признанию, является важным шагом для спасения русского осетра, воспроизводимый четкий стандартный метод с хорошими результатами еще не определен, что и обуславливает важность проводимых нами исследований [4, 5]. Современные методы аквакультуры ставят перед собой задачи, связанные не только с увеличением объемов производства, но и с сохранением генетического разнообразия, что делает внедрение технологий криоконсервации особенно актуальным. Криопротекторы помогают защитить клетки икры от повреждений, возникающих при замораживании и размораживании [1, 3].

Криопротекторы – это вещества, которые используются для защиты клеток и тканей от ледяных кристаллов, возникающих в процессе замораживания. Они позволяют предотвратить повреждение клеток, обеспечивая сохранность их структуры и функции [2, 6]. При оплодотворении икры осетровых криопротекторы могут играть ключевую роль. Использование криопротекторов в процессе замораживания икры включает в себя несколько этапов, начиная с выбора подходящего вещества. Наиболее распространенными криопротекторами являются глицерин, диметилсульфоксид и его производные. Они обладают способностью уменьшать тонкое кристаллообразование, которое может привести к повреждению клеточных мембран [8, 10].

Эффективность криопротекторов зависит от их концентрации, времени воздействия, а также температуры замораживания. Исследования показывают, что неправильный выбор криопротектора или его концентрации может привести к потере жизнеспособности икры [7, 9]. Поэтому обоснованный выбор методов криоконсервации является важным этапом в аквакультуре осетровых.

Материалы и методы. Исследования проводили в НИЦ «Разведение ценных пород осетровых» в 2020-2023 гг. и в химической лаборатории кафедры «Химия и микробиология» ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет.

Криосреды для проведения исследования были приготовлены за 1 сутки до использования:

Среда № 1 (состав: сахароза – 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6 %; глицерин – 0,05 %; дистиллированная вода), изготовленная по методике Л. И. Цветковой [4, 10].

Среда № 2 (состав: сахароза – 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6 %; глицерин – 0,05 %; этилметилгидроксипиридин сукцинат – 0,1 мМ; дистиллированная вода).

Среда № 3 (состав: сахароза – 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6 %; глицерин – 0,05 %; ацетилцистеин – 0,1 мМ; дистиллированная вода).

Среда № 4 (состав: сахароза – 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6-12 %; глицерин – 0,05-5 %; соевый лецитин – 1 %; дистиллированная вода).

Среда № 5 (состав: сахароза – 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6 %; глицерин – 0,05 %; этилметилгидроксипиридин сукцинат – 0,1 мМ; ацетилцистеин – 0,1 мМ; дистиллированная вода).

Среда № 6 (состав: сахароза 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6 %; глицерин – 0,05 %; соевый лецитин – 1 %; этилметилдигидроксипиридина сукцината – 0,01 мМ; дистиллированная вода).

Среда № 7 (состав: сахароза – 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6 %; глицерин – 0,05 %; соевый лецитин – 1 %; цетицистеин – 0,1 мМ; дистиллированная вода).

Среда № 8 (состав: сахароза – 0,05 %; хлорид калия – 0,15 %; метанол – 6 %; глицерин – 0,05 %; соевый лецитин – 1 %; этилметилдигидроксипиридина сукцината – 0,1 мМ; ацетилцистеин – 0,1 мМ; дистиллированная вода).

В основу исследования легла методика Цветковой Л. И. с соавторами [4, 10]. Сбор, закладку в сосуд Дьюара и хранение образцов проводили в соответствии с Положением о коллекционном генетическом низкотемпературном банке спермы рыб (1996) и Порядком сбора и закладки в низкотемпературный банк генетических коллекций спермы рыб (1996), утвержденным Межведомственной ихтиологической комиссией [6, 7, 8]. Получение икры проводилось прижизненным способом.

Опытные группы для оценки оплодотворяемости формировались на основании нескольких испытуемых инновационных составов криосред для замораживания спермы с использованием стандартного протокола замораживания.

Перед замораживанием сперма оценивалась по параметрам: объем, концентрация, подвижность, морфология и целостность мембраны [9].

В качестве контрольной группы выступала икра, оплодотворенная нативной спермой. Срок хранения нативной спермы составил 12 часов при температуре 4 °С в контейнере, заполненном воздушно-кислородной смесью.

Оплодотворение икры осуществляли полусухим способом. Для каждой партии икры осеменение осуществлялось из расчета 10 см³ нативной спермы на 1 кг икры разведенной водой в 200 раз. Из икры был удален избыток полостной жидкости. Сперма разбавлялась водой, быстро размешивалась, переливалась к икре и тщательно перемешивалась в течение 5 минут. Вода со спермой сливалась.

Результаты и обсуждение. В 2022 году в НИЦ «Разведение ценных пород осетровых» проведен эксперимент по испытанию новых составов криосред. Для исследования были разработаны инновационные рецептуры криопротекторов на основе различных дозировок сухого соевого лецитина, низкомолекулярных тиольных соединений, синтетических жирорастворимых антиоксидантов. Всего было предложено и отработано 8 составов криосред. Испытуемые составы подвергались оценке не только с позиции влияния на качество спермиев, но и на процент сохранности клеток, их способность к оплодотворению, а также качество и количество полученной личинки.

В результате опыта получены данные о высоком качестве спермиев, полученных после криоконсервации, при применении среды № 8 (состав: сахароза – 0,05 %, хлорид калия – 0,15 %, метанол – 6 %, глицерин – 0,05 %, соевый лецитин – 1 %, этилметилдигидроксипиридинасукцината – 0,1 мМ, ацетилцистеин – 0,1 мМ, дистиллированная вода; а также среды № 1, изготовленной по методике Л. И. Цветковой [4, 10].

Применение в опыте криосреды № 8 привело к высокому проценту оплодотворения икры (51,8 %), это при том, что показатели общей подвижности, зарегистрированные для размороженной спермы, были довольно низкими (18-25 %). Процесс инкубации продолжался 6 суток при температуре воды 14,5-18,5 °С.

Показатели оплодотворения русского осетра представлены на рисунке 1.

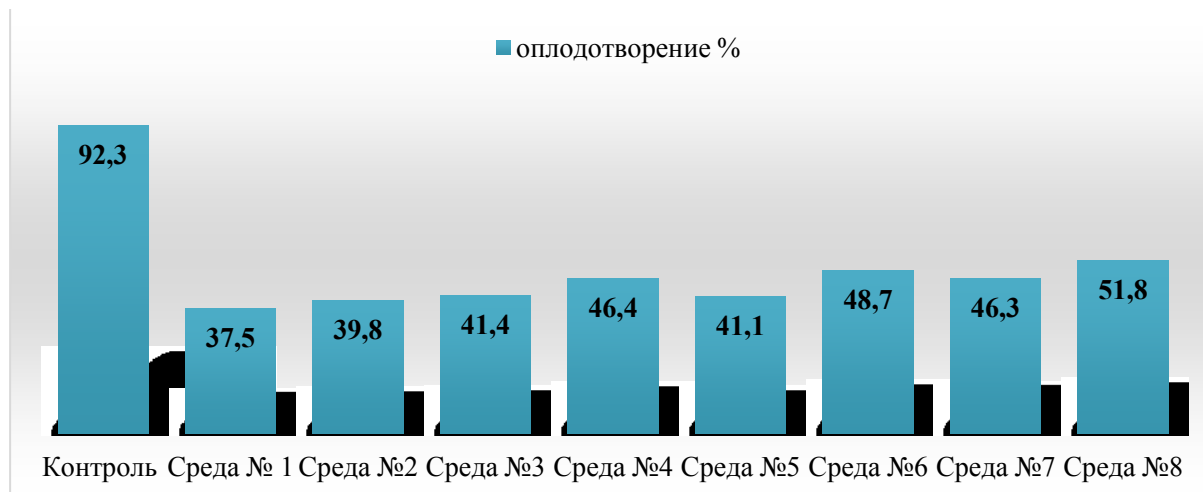


Рисунок 1 – Показатель оплодотворения икры русского осетра с использованием в опыте дефростированной спермы

Figure 1 – The index of fertilization of Russian sturgeon caviar using defrosted sperm in the experiment

В результате опыта установлен процент оплодотворения икры русского осетра с использованием криоконсервированной спермы. Данный показатель в контрольной группе, оплодотворенной нативной спермой, составил 92,3 %. По сравнению с контролем все исследуемые среды показали снижение оплодотворяемости икры. Так при использовании среды № 1 оплодотворяемость икры была ниже контроля на 54,8 %; № 2 – на 52,5 %; № 3 – на 50,9 %; № 4 – на 45,9 %; № 5 – на 51,2 %; № 6 – на 43,6 %; № 7 – на 46 %; № 8 – на 40,5 %.

Выводы. Разморозка спермы и оплодотворение играют важную роль в сохранении генетического разнообразия осетров, производстве высококачественной икры, изучении репродуктивной биологии осетровых рыб, развитии методов искусственного разведения осетров. В настоящее время ведутся исследования для оптимизации протоколов разморозки и оплодотворения для различных видов осетров. Разработка новых технологий, таких как криоконсервация и использование генетических маркеров, является перспективным направлением в этой области.

Применение различных составов криосред значительно влияет на показатели оплодотворения и выход малька. Проведенное исследование показало, что наибольший процент оплодотворяемости после криоконсервации икры русского осетра (51,8 %) получен при применении криосреды № 8, имеющей состав: сахароза – 0,05 %, хлорид калия – 0,15 %, метанол – 6 %, глицерин – 0,05 %, соевый лецитин – 1 %, этилметилдигидроксипиридинасукцинат – 0,1 мМ, ацетилцистеин – 0,1 мМ, дистиллированная вода.

Conclusions. Sperm thawing and fertilization play an important role in preserving the genetic diversity of sturgeons, producing high-quality caviar, studying the reproductive biology of sturgeon fish, and developing artificial breeding methods for sturgeons. Research is currently underway to optimize defrosting and fertilization protocols for various sturgeon species. The development of new technologies, such as cryopreservation and the use of genetic markers, is a promising area in this field.

The use of various cryomediation formulations significantly affects fertilization rates and fry yield. The study showed that the highest percentage of fertilization after cryopreservation of caviar of Russian sturgeon caviar (51.8 %) was obtained using diluent No. 8, which contains the following ingredients: sucrose – 0.05 %, potassium chloride – 0.15 %, methanol – 6 %, glycerin – 0.05 %, soy lecithin – 1 %, ethylmethyl-dihydroxypyridine succinate – 0.1 mM, acetylcysteine – 0.1 mM, distilled water.

Библиографический список

1. Беляя М. М., Красильникова А. А. Влияние скорости замораживания на рыболовные качества спермы осетровых рыб. Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 83-90.

2. Васильева Л. М., Судакова Н. В. Основные направления российского осетроводства. Рыбное хозяйство. 2020. № 4. С. 19-21.
3. Красильникова А. А., Тихомиров А. М. Получение жизнеспособной молоди русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*) при использовании криоконсервированной спермы и оценка поведенческих реакций у криопотомства. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 762-768.
4. Красильникова А. А., Тихомиров А. М. Объем замораживаемого образца как один из факторов выживаемости сперматозоидов осетровых видов рыб при криоконсервации. Естественные науки. 2019. № 2. С. 62-69.
5. Красильникова А. А., Тихомиров А. М. Альтернативные способы подготовки сперматозоидов рыб к замораживанию при сверхвысоких значениях скорости охлаждения. Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 72-78.
6. Пономарева Е. Н. и др. Криоконсервация репродуктивных клеток рыб: история и перспективы. Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 85-88.
7. Фирсова А. В. Действие обволакивающих криопротекторов и их плотности на икру рыб при ее криоконсервации. Естественные науки. 2017. № 4 (53). С. 116-119.
8. Фирсова А. В. Подбор температурных режимов замораживания при криоконсервации яйцеклеток белорыбицы. Естественные науки. 2017. № 4 (61). С. 182-185.
9. Чипинов В. Г., Джаригазов Е. С., Болонина Н. В. Оценка качества спермы осетровых рыб различными методами и опыт ее низкотемпературной консервации. Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 140-143.
10. Osipova V. P., et al. Cryoprotective effect of phosphorouscontaining phenolic anti-oxidant for the cryopreservation of beluga sperm. Cryobiology. 2014. V. 69. № 3. Pp. 467-472.

References

1. Belaya M. M., Krasilnikova A. A. The influence of the freezing rate on the fish-breeding qualities of sperm of sturgeon fish. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fishing industry. 2019. No 1. Pp. 83-90.
2. Vasilyeva L. M., Sudakova N. V. The main directions of Russian sturgeon breeding. Fisheries. 2020. No 4. Pp. 19-21.
3. Krasilnikova A. A., Tikhomirov A.M. Obtaining viable juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) using cryopreserved sperm and assessment of behavioral reactions in cryopotomy. Agricultural biology. 2018. V. 53. No 4. Pp. 762-768.
4. Krasilnikova A. A., Tikhomirov A.M. The volume of the frozen sample as one of the factors of sperm survival of sturgeon fish species during cryopreservation. Natural sciences. 2019. No 2. Pp. 62-69.
5. Krasilnikova A. A., Tikhomirov A.M. Alternative methods of preparing fish spermatozoa for freezing at ultra-high cooling rates. Bulletin of the AGTU. Series: Fisheries. 2020. No 2. Pp. 72-78.
6. Ponomareva E. N., et al. Cryopreservation of fish reproductive cells: history and prospects. Fishing industry. 2019. № 4. Pp. 85-88.
7. Firsova A. V. The effect of enveloping cryoprotectors and their density on fish eggs during its cryopreservation. Natural sciences. 2017. No 4 (53). Pp. 116-119.
8. Firsova A. V. Selection of freezing temperature conditions during cryopreservation of whitefish eggs. Natural Sciences. 2017. No 4 (61). Pp. 182-185.
9. Chipinov V. G., Dzhargazov E. S., Bolonina N. V. Evaluation of sperm quality of sturgeon by various methods and experience of its low-temperature conservation. Bulletin of the AGTU. Series: Fisheries. 2019. No 1. Pp. 140-143.
10. Osipova V. P., et al. Cryoprotective effect of phosphorouscontaining phenolic anti-oxidant for the cryopreservation of beluga sperm. Cryobiology. 2014. V. 69. No 3. Pp. 467-472.

Информация об авторах

Ранделин Дмитрий Александрович, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Давудова Туркан Мушфиг кызы, преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: davudovaturkan@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Новокщёнова Анна Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший специалист, Нижневолжский отдел государственного контроля, надзора, охраны водных биоресурсов и среды и обитания (Российская Федерация, 400125, г. Волгоград, ул. Апатитовая, здание 8), e-mail: anna.gustowa2012@yandex.ru

Кравченко Юрий Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

Authors' Information

Randelin Dmitriy Aleksandrovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Davudova Turkan Mushfig kyzy, Lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: davudovaturkan@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Novokshchenova Anna Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Specialist, Nizhnevolzhsky Department of State Control, Supervision, Protection of Aquatic Biological Resources and Environment and Habitat (Russian Federation, 400125, Volgograd, Apatitovaya St., 8), e-mail: anna.gustowa2012@yandex.ru

Kravchenko Yuri Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

THE EXTERIOR OF THE HOLSTEINIZED BLACK-AND-WHITE CATTLE**Svyazhenina M. A., Urazova A. A.***Northern Trans-Urals State Agrarian University
Tyumen, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: urazova.aa.b23@ibvm.gausz.ru

Received 23.02.2025

Submitted 20.05.2025

The studies were carried out as part of the implementation of project No. №075-03-2023-162/6. "Development of methods for breeding black-and-white Holsteinized cattle in the Tyumen region based on the use of genetic technologies and modern methods for assessing phenotypic traits" in 2023-2024 under the State assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

Summary

The article presents the results of the study of the exterior of holsteinized black-and-white cattle. The results of the study showed that holsteinized cattle acquire measurements typical for Holstein cattle at the age of three lactations. Therefore, crossbred cattle should be classified as Holstein no earlier than the fifth generation. When selecting for a breeding group, it is necessary to choose cows of medium height, with a wide chest and an elongated body.

Abstract

Introduction. Holstein cattle were used to improve black-and-white cattle. There are now many crossbred cattle with high bloodlines of the improved breed. An increase in the bloodline of Holsteins (up to a level of more than 94 %) does not always have the same effect on the formation of cows. The genetic basis changes unevenly. The procedure for determining the breed (pedigree) of breeding animals (decision of the Eurasian Economic Commission dated September 8, 2020, No. 108) indicates that animals with a bloodline of more than 75 % (3 generations) of the improving breed are classified as purebred. Black-and-white cattle have specific body types. These features can be traced in crossbred animals for a long time. Therefore, it is premature to transfer black-and-white holsteinized cattle to Holstein cattle. Animal exterior is an indicator that evaluates the impact of an improving breed, identifies productive cows, and determines the direction of selection. The study of exterior and the possibilities of its use in breeding work are always relevant. **Object.** The object of research was holsteinized cows of the black-and-white breed. **Materials and methods.** The studies were conducted at the educational and experimental farm of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals. The exterior of animals was assessed using measurements and indices. Correlation coefficients were calculated between the exterior indicators and the productive qualities of cows. The relationships made it possible to determine the ways of animal selection in the future. **Results and conclusion.** It was revealed that holsteinization influenced the constitution of crossbred cows. Adult cows corresponded to the measurements and indices for Holstein cattle. Young cows (1 lactation) exceeded the indicators of the Black-and-White breed, but had smaller measurements by chest width (by 10.2-14.5 %), oblique body length (by 3.3 %) in comparison with Holsteins. As a result, young cows were long-legged (from +1.3 % to +2.5 % in different years of research), narrow-chested (-5.3 % and -7.6 %), shortened (-7.2 %), but more compact (+6.1 %). Therefore, the animals of the analyzed groups were relatively late-maturing. Calculation of the correlation coefficients between the exterior and productivity revealed the direction of selection of cows in the breeding group. It is recommended to select animals by height and chest width. Selection by height - excessively large cows are undesirable, selection by chest width – cows with a wide chest are more productive. Cows with an elongated body have high milk yield and a short time to fruitful insemination, the correlation coefficient is +0.314 (at $P > 0.95$) and -0.442 (at $P > 0.99$) for the indicators, respectively.

Keywords: dairy cattle breeding, Holstein breed of cattle, black-and-white breed of cattle, purebred cows, crossbred cows, milk productivity of cows, exterior of cows.

Citation. Svyazhenina M. A., Urazova A. A. The exterior of the holsteinized black-and-white cattle. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 279-289 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-31.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.2.034

**ЭКСТЕРЬЕР ГОЛШТИНИЗИРОВАННОГО ЧЁРНО-ПЁСТРОГО
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА****Свяженина М. А., доктор сельскохозяйственных наук
Уразова А. А., магистрант***ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»
г. Тюмень, Российская Федерация*

Исследования проведены в рамках выполнения проекта №075-03-2023-162/6. «Разработка методов селекции черно-пестрого голштинизированного скота в Тюменской области на основе использования генетических технологий и современных методов оценки фенотипических признаков» в 2023-2024 г. по Государственному заданию Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Актуальность. Использование скота голштинской породы для повышения молочной продуктивности чёрно-пёстрого скота привело к получению помесных животных с высокой кровностью по улучшаемой породе. Однако увеличение кровности по голштинам даже до уровня более 94 % не всегда оказывает на формирование коров одинаковое воздействие. Изменившаяся генетическая основа не так однородна, и, хотя было принято решение об отнесении животных с кровностью более 75 % (3 поколения) по улучшающей породе к чистопородным¹, делать это преждевременно. Чёрно-пёстрый скот характеризуется некоторыми особенностями телосложения, которые ещё достаточно долго в процессе поглощения наблюдаются у потомства. Экстерьер животных – это один из тех показателей, который позволяет оценить воздействие улучшающей породы и выявить наиболее продуктивных животных, определить направление последующей селекции. Поэтому исследование экстерьера, возможностей его использования в племенной работе никогда не теряют своей актуальности. **Объект.** Объектом исследований явились голштинизированные коровы чёрно-пёстрой породы.

Материалы и методы. Исследования проводились в учебно-опытном хозяйстве Государственного аграрного университета Северного Зауралья. Экстерьер животных оценивался методами промеров и индексов. Между показателями экстерьера и продуктивными качествами коров были рассчитаны коэффициенты корреляции с целью определения возможных путей дальнейшей селекции животных.

Результаты и выводы. Было выявлено, что голштинизация оказала влияние на телосложение помесных коров. Коровы в возрасте 3 и более лактаций в основном соответствовали промерам и индексам, характерным для голштинского скота. Однако в возрасте 1 лактации животные, превосходя показатели черно-пестрой породы, имели меньшие промеры по сравнению с голштинами по ширине груди (на 10,2-14,5 %), косой длине туловища (на 3,3 %). В итоге молодые коровы были длинноноги (от +1,3 % до +2,5 % в разные годы исследований), узкогруды (-5,3 % и -7,6 %), укорочены (-7,2 %), но более сбиты (+6,1 %), то есть животные анализируемых групп характеризовались относительной позднеспелостью. Расчет коэффициентов корреляции между экстерьерными и продуктивными показателями выявил, что для эффективной селекции в племенной состав можно отбирать животных по промерам, обращая внимание на показатели роста и ширины груди. В первом случае (рост) – нежелательны чрезмерно крупные коровы, во втором (ширина груди) – наоборот, более продуктивны широкогрудые особи. Кроме того, наиболее продуктивными были коровы удлинённого формата: +0,314 (при $P>0,95$) с удоём и -0,442 (при $P>0,99$) с продолжительностью сервис-периода.

Ключевые слова: молочное скотоводство, голштинская порода КРС, черно-пестрая порода КРС, чистопородные коровы, помесные коровы, молочная продуктивность коров, экстерьер коров.

Цитирование. Свяженина М. А., Уразова А. А. Экстерьер голштинизированного чёрно-пёстрого крупного рогатого скота. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 279-289. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-31.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одной из задач современной селекции является повышение генетического потенциала животных, которое и определяет развитие всех его признаков и свойств [1]. В отрасли скотоводства уже достигнут достаточно высокий уровень молочной продуктивности коров [2, 3, 4]. Однако известно, что черно-пестрая порода, широко используемая в Российской Федерации, сейчас в большинстве регионов утратила свою значимость, так как уровень продуктивности коров был недостаточным. Сейчас порода активно поглощается голштинской, что позволяет повысить технологические и продуктивные качества разводимого чёрно-пёстрого скота [5, 6].

¹Порядок определения породы (породности) племенных животных: утв. решением Евразийской экономической комиссии от 8 сентября 2020 г. № 108.

Голштинская порода генетически связана с черно-пестрым скотом, но отличается от него яркой выраженностью специализированного молочного типа, более высокой молочной продуктивностью [7]. Благодаря голштинизации черно-пёстрого скота в мире повышается продуктивность стад [8].

Получение высокопродуктивных животных, адаптированных к использованию в конкретных производственных условиях, является основной задачей разведения и селекционной работы в молочном скотоводстве. При создании высокопродуктивных стад, наряду с селекцией на молочную продуктивность, большое внимание уделяется экстерьеру животных [9, 10].

Учеными установлено, что голштинизированные телки, по сравнению с чёрно-пёстрыми скотом, имеют более выраженный молочный тип, характеризуются большими размерами, что подтверждается промерами и индексами телосложения. При этом экстерьер лишь косвенно связан с показателями продуктивности. В большинстве своём гармонично сложенные коровы характеризуются лучшим здоровьем и уже затем, как следствие, высоким уровнем продуктивности.

Как отмечается в ряде исследований, для молочного скота должны быть характерны некоторые особенности телосложения: определенная конституциональная сухость, длинноноготь, глубокая грудная клетка, широкий зад, объемистое технологическое вымя. Именно такие животные характеризуются высокой продуктивностью и длительным хозяйственным использованием [11, 12].

Поэтому значительное внимание и особое место в развитии молочного животноводства уделяется показателям экстерьера животных и их влиянию на последующий отбор с целью достижения желаемых результатов. Исследователями было установлено, что животные с более высокими оценочными характеристиками за экстерьерные показатели обладают высокой молочной продуктивностью [13, 14].

Кроме этого, экстерьерная оценка крупного рогатого скота является дополнительным источником при селекции на повышение молочной продуктивности. Она позволяет не только типизировать стадо, но и уточнить породную ценность животных, определить направление последующей племенной работы [15, 16].

Материал и методы. Исследования проведены в 2023-2024 годах, в рамках Государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 075-03-2023-162/6.

Основные исследования проводились в период 2023-2024 гг. Объект исследований – крупный рогатый скот черно-пестрой породы, полученный в результате поглотительного скрещивания с голштинской породой, разводимый в учебно-опытном хозяйстве Государственного аграрного университета Северного Зауралья. Экстерьерная оценка скота выполнена специалистами кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья. Фенотипические признаки оценены у 186 голов коров методами промеров и индексов телосложения.

Промеры проводились измерительными инструментами в соответствии с общепринятыми методиками и заносились в базу данных хозяйства (ИАС СЕЛЭКС “Молочный скот”). Для экстерьерной оценки животных были взяты следующие промеры: высота в холке и крестце, ширина груди, глубина груди, ширина в маклоках, обхват груди, косая длина туловища, обхват пясти. На основании промеров рассчитаны индексы телосложения: длинноноготь, перерослости, грудной, тазо-грудной растянутости, сбитости и костистости.

Для оценки развития животных было проведено сравнение экстерьера коров со стандартами по голштинской и чёрно-пёстрой породе. Сравнение проводилось с минимальными значениями промеров из нормативных документов методики селекционных достижений на отличимость, однородность и стабильность (ООС, 1997).

На основе полученной базы данных была проверена биометрическая обработка методом вариационной статистики по методике Е. К. Меркурьевой и др. (1991), достоверность различий оценивали по Стьюденту.

Для оценки влияния экстерьера на продуктивные характеристики коров (молочные и воспроизводительные качества) были рассчитаны коэффициенты корреляции.

Результаты и обсуждение. Экстерьер является одной из характеристик продуктивных качеств животного, которая, хотя и косвенно, указывает на крепость здоровья, продолжительность продуктивного долголетия, у молочного скота – на уровень возможной продуктивности. Максимально объективны при оценке экстерьера показатели промеров животных, которые представлены в таблице 1. Изменение промеров у коров единого возраста, но разных лет рождения дает представление о направлении селекции как в отдель-

но взятом предприятии, так и в породе. Объясняется это с использованием одних и тех же производителей в разных хозяйствах. В ходе исследований были сняты промеры коров случайной выборки, на долю оцененных животных приходилось более 40% от общего поголовья данной возрастной группы.

Таблица 1 – Основные промеры коров 1 лактации, см
Table 1 – Basic measurements of cows of 1 lactation, cm

Промер / Survey	2023 г. (n=56)		2024 г. (n=63)	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %
Высота в холке / Height at the withers	137,9 $\pm$ 0,32	3,0	143,4 $\pm$ 0,40 ²	3,3
Высота в крестце / Height at the sacrum	142,7 $\pm$ 0,39	4,1	146,8 $\pm$ 0,39 ³	3,2
Ширина груди / Chest width	40,2 $\pm$ 0,34	7,9	42,2 $\pm$ 0,45 ³	13,0
Глубина груди / Chest depth	68,8 $\pm$ 0,28	5,4	69,5 $\pm$ 0,42 ³	7,2
Ширина в маклоках / Width in the tops	50,2 $\pm$ 0,39	6,5	49,8 $\pm$ 0,64	13,2
Обхват груди / Bust	195,9 $\pm$ 0,57	4,1	197,3 $\pm$ 0,63 ¹	3,9
Косая длина туловища / Oblique length of the body	165,6 $\pm$ 0,52	3,9	159,6 $\pm$ 0,88 ³	6,6
Обхват пясти / Pastern circumference	19,5 $\pm$ 0,09	6,1	19,2 $\pm$ 0,06 ¹	3,7

Примечание: ¹- P>0,95; ²- P>0,99; ³- P>0,999 достоверность разницы между промерами коров 2023 г. и 2024 г. оценки.

Note: ¹- P>0,95; ²- P>0,99; ³- P>0,999 reliability of the difference between the measurements of cows in 2023 and 2024 estimates.

Сравнение показателей коров первой лактации разных лет исследований показало, что животные 2024 года оценки почти по всем промерным характеристикам достоверно превосходили первотелок 2023 года. Исключение составили параметры ширины в маклоках, где выявленная разница находилась в пределах статистической ошибки, а также достоверное снижение промеров косой длины туловища на 6,0 см (-3,6 %) и обхвата пясти на 0,4 см (-2,1 %).

Насколько коровы анализируемых групп соответствуют рекомендованным промерам для чёрно-пёстрого и голштинского скота в соответствии с методикой ООС представлено на рисунке 1.

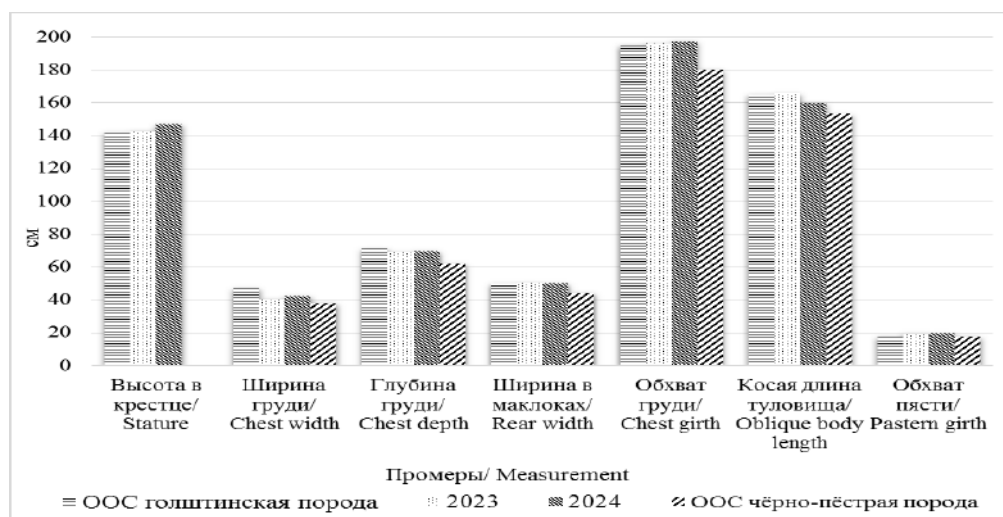


Рисунок 1 – Основные промеры коров 1 лактации, см
Figure 1 – Basic measurements of cows of 1 lactation, cm

Сравнение промеров животных разных лет исследований с нормативными по методике селекционных достижений на отличимость, однородность и стабильность (1997) показало, что коровы 1 лактации оцениваемого стада по всем промерам превышали показатели черно-пестрой породы и по большинству параметров отвечали показателям голштинской породы крупного рогатого скота. Отклонения в нежелательную сторону наблюдались только по промерам ширина груди (-6,8 см или -14,5 % в 2023 г. и -4,8 см или -10,2 % в 2024 г.), косая длина туловища (-5,4 см или -3,3 %).

То есть коровы первой лактации сохраняли некоторую узкогрудость и были несколько укороченными.

Характеристика животных по промерам в разном возрасте позволяет оценить скорость роста животных, их скороспелость (таблица 2). В ходе исследований 2024 года были сняты промеры у 130 коров разного возраста, всего было оценено по промерам не менее 30 % от возрастных групп 2 и 3 и старше лактаций.

Таблица 2 – Промеры коров разного возраста, см
Table 2 – Measurements of cows of different ages, cm

Промер / Survey	1 лактация / lactation 1 (n=63)		2 лактация / lactation 2 (n=31)		3 лактация и старше / lactation 3 and older (n=36)	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %
Высота в холке / Height at the withers	143,4±0,40	3,3	145,5±0,47 ³	3,3	145,7±0,50 ³	2,9
Высота в крестце / Height at the sacrum	146,8±0,39	3,2	147,3±0,45	3,1	149,1±0,48 ³	2,7
Ширина груди / Chest width	42,2±0,45	13,0	46,8±0,77 ¹	16,6	45,2±0,70 ¹	13,0
Глубина груди / Chest depth	69,5±0,42	7,2	70,7±0,28 ²	5,7	71,5±0,44 ³	5,2
Ширина в маклоках / Width in the tops	49,8±0,64	13,2	50,8±0,54	12,3	52,4±0,71 ¹	11,5
Обхват груди / Bust	197,3±0,63	3,9	200,5±0,56 ³	2,9	206,3±0,85 ³	3,5
Косая длина туловища / Oblique length of the body	159,6±0,88	6,6	162,5±0,51 ¹	3,2	165,2±0,81 ¹	4,2
Обхват пясти / Pastern circumference	19,2±0,06	3,7	19,0±0,07 ¹	3,7	19,3±0,08	3,6

Примечание: ¹- P>0,95; ²- P>0,99; ³- P>0,999 достоверность разницы между промерами коров разного возраста.

Note: ¹- P>0.95; ²- P>0.99; ³- P>0.999 significance of the difference between the measurements of cows of different ages.

Таблица 3 – Индексы телосложения коров 1 лактации, %
Table 3 – Body indexes of cows of 1 lactation, %

Индекс / Index	2023 г.		2024 г.	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %
Длинноногости / Long-legged	50,3 ± 0,11	3,9	51,5±0,29 ²	6,8
Перерослости / Overgrowth Index	102,0±0,32	4,2	102,4±0,17	2,0
Грудной / Pectoral	58,6 ± 0,20	5,9	60,9±0,72 ¹	14,2
Тазо-грудной / Pelvic-thoracic	80,1±0,36	8,1	89,4±1,10 ³	14,8
Растянутости / Stretches	120,1 ± 0,31	4,3	111,3±0,60 ³	6,5
Сбитости / Body Density	118,3 ± 0,30	4,7	124,3±0,88 ³	8,5
Костистости / Bones	14,1 ± 0,03	3,6	13,4±0,06 ³	6,5

Примечание: ¹- P>0,95; ²- P>0,99; ³- P>0,999 достоверность разницы между индексами коров 2023 г. и 2024 г. Оценки.

Note: ¹- P>0.95; ²- P>0.99; ³- P>0.999 Significance of the difference between the 2023 cow indices and 2024 estimates.

Промеры коров разного возраста указывают на продолжающийся рост животных вплоть до 3 лактации. Такой относительно длительный рост характерен для скота черно-пестрой породы, то есть, несмотря на практически полное соответствие параметрам голштинской породы, в стаде сохранилась некоторая длительность развития животных и это можно интерпретировать как особенность черно-пестрого скота. В то же время взрослые коровы по промерам соответствовали голштинскому скоту.

Индексы телосложения, приведенные в таблицах 3 и 4, позволяют судить, насколько оцениваемые животные гармоничны и соответствуют типу молочного скота.

Сравнение коров 1 лактации разных лет исследований указывает на изменения, происходящие в стаде. Так, в 2024 году введенные в стадо коровы были достоверно более длинноногими (+1,2 %), с относительно широкой грудной клеткой (+2,3 % по грудному и +9,3 % по тазо-грудному индексам), укороченным (-8,8 %) и сбитым (+6,0 %) туловищем, тонким костяком (-0,7 %).

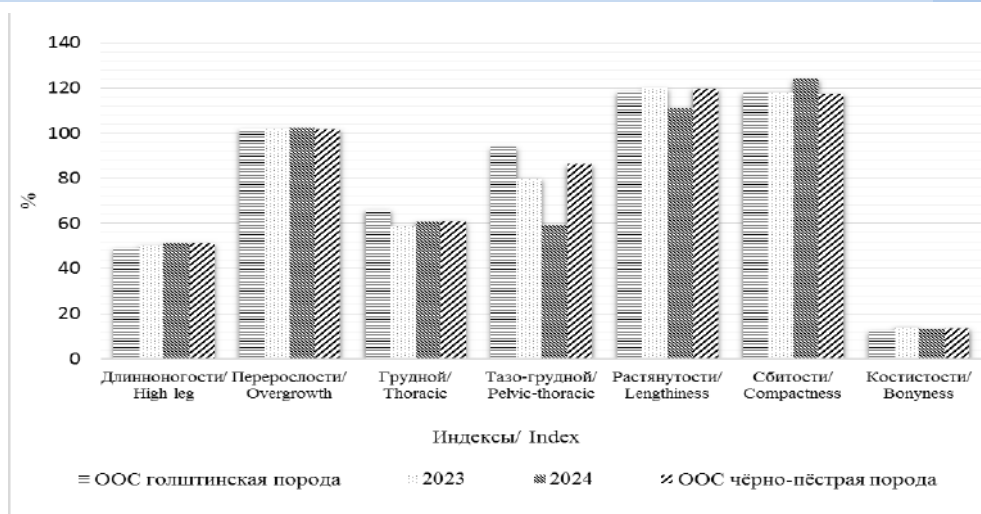


Рисунок 2 – Индексы телосложения коров 1 лактации, %
Figure 2 – Body indexes of cows of the first lactation, %

Сравнение индексов телосложения у коров первой лактации разных лет оценки с нормативными показателями, рассчитанными на основании промеров по методике ООС (1997), указывает на присутствие у голштинизированных коров некоторых особенностей телосложения, свойственных черно-пестрой породе: длинноногость, узкогрудость, костистость. В то же время можно отметить некоторые отклонения в развитии туловища коров, а именно у животных 2024 года оценки – укороченность и сбитость корпуса в сравнении с рекомендациями для обеих пород.

Выявленные признаки указывают на сохранение у первотелок признаков молодняка, то есть недостаточную скороспелость. А ведь именно быстрый рост – это основная характеристика скота голштинской породы.

Индексы телосложения коров разных возрастов (таблица 4) дают представление об особенностях телосложения стада в целом. Если молодые животные еще могут продолжать расти, то взрослые животные уже прекращают рост.

Таблица 4 – Индексы телосложения коров разного возраста, %
Table 4 – Body indexes of cows of different ages, %

Индекс / Index	1 лактация / Lactation 1		2 лактация / Lactation 2		3 лактация и старше / lactation 3 and older	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %
Длинноногости / Long-legged	51,5±0,29	6,8	51,3±0,32	6,4	50,8±0,34	5,6
Перерослости / Overgrowth	102,4±0,17	2,0	101,3±0,11	1,1	102,2±0,17	1,4
Грудной / Pectoral	60,9±0,72	14,2	66,6±1,30 ²	20,0	63,2±1,11	14,6
Тазо-грудной / Pelvic-thoracic	89,4±1,10	14,8	95,2±1,74	18,7	86,5±1,10	10,8
Растяннутости / Body stretch	111,3±0,60	6,5	111,8±0,42	3,9	113,6±0,68 ¹	5,1
Сбитости / Body Density	124,3±0,88	8,5	123,4±0,35	2,9	124,0±0,71	4,7
Костистости / Bones	13,4±0,06	6,5	13,1±0,06 ³	4,6	13,2±0,06	4,1

Примечание: ¹- P>0,95; ²- P>0,99; ³- P>0,999 достоверность разницы между индексами коров разного возраста.

Note: ¹- P>0.95; ²- P>0.99; ³- P>0.999 significance of the difference between the indices of cows of different ages.

Индексная оценка стада в целом выявила, что для поголовья хозяйства независимо от возраста были характерны длинноногость, некоторая узкогрудость, компактность и сбитость туловища. Такие особенности могут быть обусловлены, в том числе, остаточным влиянием материнской основы стада, которой являлся черно-пестрый скот уральского отродья.

В целом же стадо, несмотря на выявленные отличия по промерам и индексам телосложения, характеризовалось выраженным молочным типом и в достаточной мере соответствовало голштинской породе. Существующие отклонения показателей экстерьера находились в допустимых пределах и были характерны для всего стада, так как коэффи-

циенты вариации показателей промеров и индексов в большинстве своем составили до 10,0 %. Исключением явились широтные промеры груди и зада, где вариабельность выше, что позволяет проводить отбор животных по этим признакам в племенную группу.

Так как экстерьер не связан напрямую с молочной продуктивностью коров, то в большинстве случаев отмечаются слабые корреляционные связи. В случае с промерами и индексами телосложения корреляция в основном прямая. Показатели корреляции между промерами и продуктивными качествами коров представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Корреляционная связь между промерами туловища и показателями продуктивности у коров разного возраста

Table 5 – Correlation between trunk measurements and productivity indicators in cows of different ages

Показатель / Index	Промер, см / Measurements, cm							
	Высота в холке / Height at the withers	Высота в крестце / Height at the sacrum	Ширина груди / Chest width	Глубина груди / Chest depth	Ширина в маклоках / Width in the tops	Косая длина туловища / Oblique length of the body	Обхват груди / Bust	Обхват пасты / Pastern circumference
1 лактация / Lactation 1								
Удой, кг / Milk yield, kg	-0,229	-0,238	0,057	-0,155	-0,062	0,148	-0,253	-0,100
МДЖ, % / MJ, %	-0,240	-0,220	-0,235	0,261	0,052	0,112	0,237	0,189
МДБ, % / MDB, %	0,225	0,218	-0,027	-0,108	-0,331¹	0,077	0,379¹	-0,149
МЖ+МБ, кг / MW + MB, kg	-0,146	-0,208	-0,095	0,082	-0,091	0,186	0,136	-0,164
Живая масса, кг / Live weight, kg	-0,170	-0,188	0,003	-0,213	-0,099	0,196	0,100	-0,205
Возраст 1 осеменения, мес. / Age of 1 insemination, months	0,250	0,242	0,219	0,044	-0,049	0,070	-0,032	-0,099
Сервис-период, дн. / Service period, days	0,435²	0,435²	0,102	-0,033	-0,105	-0,045	0,504³	0,072
Сухостойный период, дн. / Dry period, days	0,090	0,182	-0,182	-0,104	-0,193	0,134	0,068	0,346¹
2 лактация / Lactation 2								
Удой, кг / Milk yield, kg	0,069	0,336	0,184	0,119	0,044	-0,072	0,116	-0,302
МДЖ, % / MJ, %	-0,222	-0,079	0,690³	-0,121	0,618	0,242	0,032	0,284
МДБ, % / MDB, %	-0,261	-0,368	0,463¹	-0,286	0,296	0,531	0,116	-0,036
МЖ+МБ, кг / MW + MB, kg	-0,419	-0,228	0,338	-0,216	-0,062	-0,086	-0,088	-0,436¹
Живая масса, кг / Live weight, kg	-0,276	0,102	0,442¹	0,263	0,313	-0,362	-0,238	0,006
Возраст 1 осеменения, мес. / Age of 1 insemination, months	0,287	0,243	-0,210	0,419	-0,154	-0,361	0,445¹	-0,064
Сервис-период, дн. / Service period, days	-0,181	-0,320	0,137	-0,453¹	0,119	0,265	-0,243	-0,132
Сухостойный период, дн. / Dry period, days	0,124	0,043	-0,122	-0,004	0,040	0,217	0,201	0,519¹
3 лактация / Lactation 3								
Удой, кг / Milk yield, kg	0,039	-0,037	-0,134	0,162	0,080	0,025	0,044	0,313
МДЖ, % / MJ, %	0,211	0,082	-0,222	-0,030	0,068	-0,092	0,104	0,402¹
МДБ, % / MDB, %	0,252	0,139	0,190	0,052	0,251	0,401¹	0,011	0,073
МЖ+МБ, кг / MW + MB, kg	0,055	-0,036	-0,174	0,153	0,079	-0,002	0,070	0,367
Живая масса, кг / Live weight, kg	0,171	0,416¹	-0,272	0,350	0,057	0,238	-0,081	0,333
Возраст 1 осеменения, мес. / Age of 1 insemination, months	0,223	0,187	0,008	-0,102	0,113	-0,088	-0,156	0,256
Сервис-период, дн. / Service period, days	0,134	0,102	0,236	-0,176	0,404	0,073	-0,433¹	0,340
Сухостойный период, дн. / Dry period, days	-0,209	-0,300	0,425¹	-0,282	0,021	-0,167	-0,533²	-0,247

Примечание: ¹-P>0,95; ²-P>0,99; ³-P>0,999.

Note: ¹-P>0.95; ²-P>0.99; ³-P>0.999.

Выявленные коэффициенты корреляции указывают на желательный отбор животных 1 лактации в племенную группу с учетом следующих особенностей: излишне высокие животные нежелательны, так как характеризуются меньшей продуктивностью и длительным сервис-периодом, излишнее развитие зада в ширину привело к снижению белковомолочности, а увеличение промера обхват пясти – к удлинению сухостойного периода.

Таблица 6 – Взаимосвязь показателей индексов телосложения и продуктивности коров разного возраста
Table 6 – The relationship between the indices of physique and productivity of cows of different ages

Показатель / Index	Индекс телосложения / Body Type Index						
	Перерослости / Overgrowth index	Длинноногости / Long-legged index	Грудной / pectoral	тазо-грудной / pelvic-thoracic	Сбитости / body density	Растянутости / stretching	Костистости / bones
1 лактация / Lactation 1							
Удой, кг / Milk yield, kg	0,015	0,022	0,065	-0,025	-0,419²	0,314¹	0,081
МДЖ, % / MJ, %	0,100	-0,346¹	-0,267	-0,151	0,123	0,297	0,323
МДБ, % / MDB, %	-0,061	0,204	0,028	0,234	0,284	-0,131	-0,282
МЖ+МБ, кг / MW + MB, kg	-0,159	-0,141	-0,102	-0,050	-0,066	0,263	-0,030
Живая масса, кг / Live weight, kg	0,035	0,102	0,087	0,081	-0,139	0,272	-0,009
Возраст 1 осеменения, мес. / Age of 1 insemina- tion, months	-0,066	0,082	0,156	0,221	-0,110	-0,147	-0,256
Сервис-период, дн. / Service period, days	-0,042	0,241	0,131	0,171	0,561³	-0,442²	-0,042
Сухостойный период, дн. / Dry period, days	0,219	0,147	-0,127	0,089	-0,105	0,071	0,253
2 лактация / Lactation 2							
Удой, кг / Milk yield, kg	0,501²	-0,078	0,141	0,203	0,147	-0,099	-0,235
МДЖ, % / MJ, %	0,367	-0,007	0,669³	0,073	-0,201	0,363	0,331
МДБ, % / MDB, %	-0,084	0,105	0,532²	0,156	-0,386	0,656³	0,171
МЖ+МБ, кг / MW + MB, kg	0,578²	-0,059	0,415¹	0,536²	0,021	0,268	0,028
Живая масса, кг / Live weight, kg	0,547²	-0,353	0,286	0,209	0,125	-0,181	0,196
Возраст 1 осеменения, мес. / Age of 1 insemina- tion, months	-0,220	-0,217	-0,346	-0,006	0,630³	-0,533²	-0,259
Сервис-период дн. / Service period, days	-0,192	0,309	0,308	-0,023	-0,408¹	0,367	0,042
Сухостойный период, дн. / Dry period, days	-0,218	0,072	-0,125	-0,177	-0,035	0,066	0,245
3 лактация / Lactation 3							
Удой, кг / Milk yield, kg	0,117	0,126	0,112	0,126	0,020	0,036	-0,159
МДЖ, % / MJ, %	-0,186	0,109	-0,184	-0,361	0,171	-0,164	0,323
МДБ, % / MDB, %	-0,157	0,063	0,152	-0,018	-0,344	0,225	-0,077
МЖ+МБ, кг / MW + MB, kg	-0,157	-0,114	-0,213	-0,316	0,056	-0,017	0,394
Живая масса, кг / Live weight, kg	0,421¹	-0,246	-0,368	-0,419¹	-0,286	0,150	0,357
Возраст 1 осеменения, мес. / Age of 1 insemina- tion, months	-0,029	0,181	0,034	-0,088	-0,048	-0,165	0,163
Сервис-период дн. / Service period, days	-0,026	0,207	0,269	-0,114	-0,415¹	0,007	0,322
Сухостойный период, дн. / Dry period, days	-0,206	0,170	0,459¹	0,569²	-0,248	-0,062	-0,149

Примечание: ¹-P>0,95; ²-P>0,99; ³-P>0,999.

Note: ¹-P>0.95; ²-P>0.99; ³-P>0.999.

Для коров второй лактации актуален отбор с учетом ширины груди, промер достоверно и положительно был связан с качественными характеристиками молока. В то же время увеличение глубины груди снижало продолжительность сервис-периода, а чрезмерно объемистая грудная клетка привела к его удлинению. Коровы с объемистым костяком имели меньшие показатели суммарного производства жира и белка за лактацию, а также удлинённый сухостойный период.

У полновозрастных коров наблюдалась: положительная корреляция высоты в крестце и живой массы; особи с наиболее вытянутым в длину телом обладали высокой белково-молочностью; у коров с крепким костяком были высокие показатели жирномолочности; увеличение обхвата груди позволило снизить продолжительность сервис-периода и сухостойного периода.

То есть все выявленные связи указывают на то, что максимальными показателями молочной продуктивности и воспроизводительными качествами обладали крепкие животные средних размеров.

Очень интересны выявленные связи индексов телосложения и продуктивных качеств (таблица 6).

У коров 1 лактации отмечалось снижение жирномолочности при повышении индекса длинноноготости, снижение молочности и удлинение сервис-периода у излишне сбитых животных, повышение удоя и снижение продолжительности сервис-периода у первотелок с растянутым туловищем. То есть, при отборе животных для племенного использования необходимо использовать именно эти индексные характеристики.

У коров второй лактации актуальными при отборе являлись показатели индекса перерослости, то есть излишне быстро выросшие коровы имели ниже показатели удоя, суммарного производства жира и белка за лактацию, а также живую массу. Коровы с широкой грудной клеткой производили молоко с высоким содержанием жира и белка и в итоге от них получали больше жира и белка за лактацию. Положительно с производством молочного жира и белка был связан тазогрудной индекс. В отличие от первотелок, у коров 2 лактации наблюдался относительно короткий сервис-период при повышении индекса сбитости. У наиболее растянутых животных выявлено увеличение белково-молочности и снижение возраста первого осеменения.

У полновозрастных коров при отборе можно учитывать: индекс перерослости (выше живая масса), грудной и тазогрудной индексы (удлинение сухостойного периода), индекс сбитости (снижение сервис-периода). Остальные взаимосвязи можно рассматривать только как тенденции в силу их слабости.

Заключение. В ходе исследований было выявлено, что проведение поглощения чёрно-пёстрой породы крупного рогатого скота голштинской в условиях учебно-опытного хозяйства Государственного аграрного университета Северного Зауралья привело к изменению типа телосложения животных. Однако даже у высококровных помесей, которыми представлено стадо, отмечались отличия от рекомендуемых для голштинского скота экстерьерных характеристик. Коровы 1 лактации имели меньшие в сравнении с рекомендуемыми для голштинского скота по методике ООС (1997) показатели промеров ширины груди (на 10,2-14,5 %), косой длины туловища (3,3 %). По индексным характеристикам наблюдалась большая длинноноготость (от +1,3 % до +2,5 %), узкогрудость (от -5,3 % до -7,6 %), укороченность (-7,2 %) и повышенная сбитость (+6,1 %) туловища. С возрастом выявленные отклонения в основном нивелировались, что позволило судить об относительной позднеспелости животных в сравнении с чистопородным голштинским скотом.

Полученные в ходе расчётов коэффициенты корреляции указывают в основном на слабые связи экстерьерных признаков и показателей продуктивности. При этом были выявлены и более сильные связи между экстерьерными и продуктивными качествами, которые можно использовать в последующей селекции. Наиболее перспективными для отбора в племенную часть стада были коровы 1 лактации среднего роста, а не крупные, у которых наблюдалась тенденция отрицательной связи с удоем (-0,229 с высотой в холке и -0,238 с высотой в крестце) и положительная с продолжительностью сервис-периода (+0,435 при $P > 0,95$).

Таким образом, экстерьерная оценка не теряет своей актуальности и может использоваться в том числе для определения последующего направления селекции в стаде.

Conclusions. The study revealed that in the conditions of the analyzed herd, the absorption of Black-and-White cattle by the Holstein breed led to a change in the body type of the animals. But even in the high-blooded crossbreeds that represented the herd, differences from the exterior charac-

teristics of Holstein cattle were revealed. Cows of the 1st lactation had lower measurement indicators in comparison with those recommended for Holstein cattle according to the method for distinctiveness, homogeneity and stability (1997) for chest width (by 10.2-14.5 %), oblique body length (3.3 %). According to the body indexes, the cows were more long-legged (from +1.3 % to +2.5 %), narrow-chested (from -5.3 % to -7.6 %), shortened (-7.2 %) and increased compactness of the body (+6.1 %). In adult cows, the identified deviations were leveled out. This allows us to talk about the relative late maturity of crossbred animals in comparison with purebred Holstein cattle.

The correlation coefficients often indicate weak connections between exterior features and productivity indicators. Stronger connections were also identified that can be used in subsequent selection. Cows of the first lactation of average height were more promising for selection into the breeding part of the herd. The tallest animals showed a tendency for a negative correlation with milk yield (-0.229 with the height at the withers and -0.238 with the height at the sacrum) and a positive relationship with the duration of the service period (+0.435 at $P > 0.95$).

Thus, the exterior assessment does not lose its relevance and can be used to determine the subsequent direction of selection in the herd.

Библиографический список

1. Алексеева А. Ю., Дадыхина А. М. Молочная продуктивность коров голштинской породы в зависимости от происхождения их отцов. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 59. С. 87-91.
2. Назарченко О. В., Русанов А. Н. Реализация потенциала коров голштинской породы различных генераций по продуктивным качествам. Главный зоотехник. 2021. № 12 (221). С. 28-35.
3. Назарченко О. В., Четвертакова Е. В., Улимбашев М. Б. Продуктивные качества коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от их возраста. Вестник КрасГАУ. 2021. № 10 (175). С. 150-157.
4. Шушпанова К. А., Татаркина Н. И. Продуктивность коров голштинской породы. Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 44-47.
5. Свяженина М. А. Экстерьер скота голштинской породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 217-219.
6. Контэ А. Ф., Ермилов А. Н., Бычкова Н. Г., Сермягин А. А. Оценка племенной ценности быков-производителей популяции черно-пестрого скота Московской области по типу телосложения дочерей. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2019. № 3 (55). С. 275-283.
7. Антипова Т. А., Кудряшова О. В., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Мосолова Н. И., Анисимова Е. Ю., Воронцова Е. С., Ткаченко Н. А., Брехова С. А. Продуктивность и качество молока коров различных пород в условиях Волгоградской области. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2024. № 5 (77). С. 166-177.
8. Свяженина М. А. Влияние голштинизации на селекционно-генетические показатели крупного рогатого скота черно-пестрой породы. АгроЭкоИнфо. 2018. № 4 (34). С. 35. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36835253>
9. Мартынова Е. Н., Исупова Ю. В. Экстерьерные особенности и молочная продуктивность голштинизированных коров холмогорской породы разных генераций. Пермский аграрный вестник. 2018. № 1 (21). С. 125-131.
10. Уразова А. А., Фатеева А. А., Свяженина М. А. Взаимосвязь экстерьерных показателей и продуктивности у коров голштинской породы. Актуальные вопросы современных научных исследований: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. Пенза, 2024. С. 69-74.
11. Тарчов Т. Т. и др. Продуктивные и экстерьерные особенности голштинского и голштинизированного скота. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 2 (73). С. 117-123.
12. Часовщикова М. А., Пуногова В. В. Биологические и хозяйственные особенности коров чёрно-пёстрой породы разного уровня продуктивности. Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 107-115.
13. Шевелева О. М., Криница Т. П. Экстерьерные особенности и живая масса герефордского скота разного происхождения. Агропродовольственная политика России. 2020. № 3. С. 36-39.
14. Батанов С. Д., Старостина О. С., Баранова И. А. Наследственная обусловленность в формировании телосложения крупного рогатого скота черно-пестрой породы. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (64). С. 61-67.
15. Татаркина Н. И., Свяженина М. А., Пономарева Е. А. Применение экстерьерной оценки в селекции крупного рогатого скота голштинской породы. Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 10. С. 81-90.
16. Шевелёва О. М., Свяженина М. А., Суханова С. Ф., Даниленко И. Ю. Экстерьерная характеристика коров голштинской породы в условиях Северного Зауралья. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 2 (66). С. 253-262.

References

1. Alekseeva A. Yu., Dadykina A. M. Milk Productivity of Holstein Cows Depending on the Origin of Their Fathers. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2020. № 59. Pp. 87-91.
2. Nazarchenko O. V., Rusanov A. N. Realization of the Potential of Holstein Cows of Different Generations in Productive Qualities. Chief zootechnician. 2021. № 12 (221). Pp. 28-35.
3. Nazarchenko O. V., Chetvertakova E. V., Ulimbashev M. B. Productive qualities of black-and-white cows depending on their age. Vestnik KrasGAU. 2021. № 10 (175). Pp. 150-157.
4. Shushpanova K. A., Tatarkina N. I. Productivity of Holstein cows. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2020. № 2 (34). Pp. 44-47.
5. Svyazhenina M. A. Exterior of Holstein Breed Cattle. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2019. № 5 (79). Pp. 217-219.

6. Konte A. F., Ermilov A. N., Bychkunova N. G., Sermyagin A. A. Estimation of the breeding value of bulls of the black-and-white cattle population of the Moscow region by the body type of daughters. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2019. № 3 (55). Pp. 275-283.
7. Antipova T. A., Kudryashova O. V., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolova N. I., Anisimova E. Yu., Vorontsova E. S., Tkachenkova N. A., Brekhova S. A. Productivity and Quality of Milk of Cows of Different Breeds in the Volgograd Region. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2024. № 5 (77). Pp. 166-177.
8. Svyazhenina M. A. Influence of Holsteinization on Selection and Genetic Indicators of Black-and-White Cattle. *AgroEcolInfo*. 2018. № 4 (34). P. 35. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36835253>
9. Martynova E. N., Isupova Y. V. Exterior Features and Milk Productivity of Holsteinized Cows of the Kholmogory Breed of Different Generations. *Perm Agrarian Bulletin*. 2018. № 1 (21). Pp. 125-131.
10. Urazova A. A., Fateeva A. A., Svyazhenina M. A. Relationship between exterior indicators and productivity in Holstein cows. Actual issues of modern scientific research: collection of articles of the XIV International Scientific and Practical Conference. Penza, 2024. Pp. 69-74.
11. Productive and exterior features of Holstein and Holsteinized cattle. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2023. № 2 (73). Pp. 117-123.
12. Chasovshchikova M. A., Punegova V. V. Biological and economic features of black-and-white cows of different levels of productivity. *Animal husbandry and fodder production*. 2024. V. 107. № 2. Pp. 107-115.
13. Sheveleva O. M., Krinitsina T. P. Exterior Features and Live Mass of Hereford Cattle of Different Origins. *Agro-food policy of Russia*. 2020. № 3. Pp. 36-39.
14. Batanov S. D., Starostina O. S., Baranova I. A. Hereditary Conditioning in the Formation of the Physique of Black-and-White Cattle. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2022. № 4 (64). Pp. 61-67.
15. Tatarkina N. I., Svyazhenina M. A., Ponomareva E. A. Application of Exterior Assessment in the Selection of Holstein Cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023. V. 23. № 10. Pp. 81-90.
16. Sheveleva O. M., Svyazhenina M. A., Sukhanova S. F., Danilenko I. Y. Exterior characteristics of Holstein cows in the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2022. № 2 (66). Pp. 253-262.

Информация об авторах

Свяженина Марина Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» (Российская Федерация, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7), e-mail: svyazhenina@gausz.ru

Уразова Алина Альбертовна, магистрант, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» (Российская Федерация, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7), e-mail: urazova.aa.b23@ibvm.gausz.ru

Authors' Information

Svezhenina Marina Anatolyevna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Russian Federation, 625003, Tyumen, Republic Str., 7), e-mail: svyazhenina@gausz.ru

Urazova Alina Albertovna, master's student, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Russian Federation, 625003, Tyumen, Republic Str., 7), e-mail: urazova.aa.b23@ibvm.gausz.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-32

GOATS PRODUCTIVITY AND MINERAL STATUS IN WINTER AND SPRING**Kharlamov A. V., Frolov A. N., Panin V. A.***Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: oniish@yandex.ru

Received 17.12.2022

Submitted 16.05.2025

The performed studies were carried out according to the research for 2024. FGBNU FNC BST RAS (No. FNWZ-2024-0001).**Abstract**

Introduction. Down goat breeding is a promising and dynamically developing industry producing a variety of products, where down is the main highly demanded and expensive commodity. In this regard, this study examines seasonal changes in the productive qualities and mineral composition of the wool of Orenburg breed goats. Minerals play an important role in stimulating the physiological processes of the body, including metabolism and immunity. Thus, the conducted studies aimed at identifying seasonal changes in the productivity and mineral composition of the wool of downy goats are relevant and significant. The purpose of the conducted research is to study seasonal changes in the elemental status of Orenburg breed goats depending on economically useful characteristics (the level of down productivity). To achieve this goal, the following tasks were solved: determining the productive qualities of goats at the age of 24 months (March, the value of down productivity and the quality of down); determination of the mineral composition of wool (January, March); study of the physiological state based on hematological and biochemical indicators of blood (January, March); study of the mineral composition of blood (January, March). **Object.** The object of the study was the goats of the Orenburg region. **Materials and methods.** The study was conducted in the agricultural production cooperative "Donskoy" of the Orenburg region on the instructions of the Research Institute for 2024 of the Federal State Budgetary Scientific Research Center of the BST RAS (No. FNWZ-

2024-0001). To conduct the experiment, a sample of goats aged two years was formed, divided into two groups, similar individuals within a group of 16 heads each (groups I and II). An experiment to assess the quality of down fiber in Orenburg goats was conducted during the winter and spring period, taking into account seasonal changes. The formation of experimental groups was carried out according to the methodological recommendations "Fundamentals of experimental business in animal husbandry". The analysis of the quality of down fiber was carried out in the laboratories of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific and Clinical Center for Biological Research" of the Russian Academy of Sciences (FSBI FNC BST RAS) and the Department of technology of meat production and beef production. At the same time, the methods "Methodology for determining the quantitative ratio and thin of fibers of various types" and "Methodology for determining the true length of wool" were used. To assess the differences in down productivity indicators (151-256 g and 261-381 g), in March, the quantity of collected down was taken into account, samples were weighed and relative indicators were calculated. **Results and conclusions.** The analysis of indicators of down productivity of goats showed the following results. In group I, the average weight of down in total for two combs was 311.63 g, exceeding the same indicator of group II by 97.19 g (45.32 %). At the same time, the true length of down in goats of group I was higher by 0.03 cm (0.43 %) compared with group II. The down fiber thin in group II goats was 16.61 microns, which is 0.07 microns (0.42 %) less than in group I goats. In March, the down content in the coat of group I goats was 8.9 % higher than that of group II goats. Accordingly, the content of awn in the coat of goats of group I was 37.10 %, and in goats of group II – 46.80 %. A slight but superior value of the index of complete elongation of downy fibers was recorded in goats of group I – 46.98 % versus 46.85 % in goats of group II. The study showed that the wool of goats from the highly productive group (the first group) contains a greater number of vital elements that play a key role in the vital activity of animals. Thus, the content of copper (Cu) was 1.14 % higher, chromium (Cr) – by 18.84 %, zinc (Zn) – by 1.83 %, and selenium (Se) – by 2.45 %. At the same time, seasonal dynamics of the content of some elements was observed. Thus, the amount of manganese (Mn), cobalt (Co), copper (Cu), iron (Fe) in the wool of both groups decreased in spring compared to the winter period. On the contrary, the chromium (Cr) content increased in spring in both the highly productive and the less productive group (the second group). The zinc (Zn) content decreased in spring in both groups. The content of selenium (Se) increased in spring in both groups. The iodine (I) content decreased in spring in both groups. Thus, in order to increase the effectiveness of obtaining down from goats, it is advisable to conduct a study of the seasonal dynamics of the mineral composition of wool depending on productivity and with subsequent adjustments in the diet of individual micro and macro elements by seasons based on the data obtained.

Keywords: goat breeding, downy goats, keeping downy goats, productivity of downy goats.

Citation. Kharlamov A. V., Frolov A. N., Panin V. A. Goats productivity and mineral status in winter and spring. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 289-300 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-32.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the presentation.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.08(470.56)

ПРОДУКТИВНОСТЬ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СТАТУС КОЗ В ЗИМНИЙ И ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Харламов А. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Фролов А. Н., доктор биологических наук

Панин В. А., доктор сельскохозяйственных наук

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

Исследования выполнены в рамках НИР на 2024 г. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0001).

Актуальность. Пуховое козоводство представляет собой перспективную и динамично развивающуюся отрасль, производящую разнообразную продукцию, где пух является основным высокопотребованным и дорогостоящим товаром. В связи с этим в настоящем исследовании изучены сезонные изменения в продуктивных качествах и минеральном составе шерсти коз оренбургской породы. Минеральные вещества играют важную роль в стимулировании физиологических процессов организма, включая метаболизм и иммунитет. Таким образом, проведенные исследования, направленные на выявление сезонных изменений продуктивности и минерального состава шерсти пуховых коз, являются актуальными и значимыми. Целью проведенных исследований является изучение сезонных изменений элементного статуса коз оренбургской породы в зависимости от хозяйственно-полезных признаков (уровня пуховой продуктивности). Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: определение продуктивных качеств коз в возрасте 24 мес. (март, величина пуховой продуктивности и качество пуха); определение минерального состава шерсти (январь,

март); изучение физиологического состояния на основе гематологических и биохимических показателей крови (январь, март); изучение минерального состава крови (январь, март). **Объект.** Объектами исследования были козы оренбургской породы. **Материалы и методы.** Исследование проводилось в сельскохозяйственном производственном кооперативе «Донской» Оренбургской области по заданию НИР на 2024 г. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0001). Для проведения эксперимента была сформирована выборка из коз в возрасте двух лет, разделенная на две группы, аналогичные особи внутри группы по 16 голов каждая (I и II группы). Эксперимент по оценке качества пухового волокна у коз оренбургской породы проводился в течение зимнего и весеннего периода с учётом сезонных изменений. Формирование экспериментальных групп осуществлялось согласно методическим рекомендациям «Основы опытного дела в животноводстве». Анализ качества пухового волокна производился в лабораториях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научно-клинический центр биологических исследований» Российской академии наук (ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН) и отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины. При этом использовались «Методика определения количественного соотношения и тонины волокон различных типов» и «Методика определения истинной длины шерсти». Для оценки различий в показателях пуховой продуктивности (151-256 г и 261-381 г) в марте был проведен учет количества собранного пуха, взвешивание образцов и расчет относительных показателей. **Результаты и выводы.** Анализ показателей пуховой продуктивности коз показал следующие результаты. В группе I средний вес пуха суммарно по двум часам составил 311,63 г, превысив аналогичный показатель группы II на 97,19 г (45,32 %). При этом истинная длина пуха у коз группы I оказалась выше на 0,03 см (0,43 %) по сравнению с группой II. Тонина волокон пуха у коз группы II составила 16,61 мкм, что на 0,07 мкм (0,42 %) меньше, чем у коз группы I. В марте содержание пуха в шерстном покрове у коз группы I было на 8,9 % выше, чем у коз группы II. Соответственно, содержание ости в шерстном покрове у коз группы I составило 37,10 %, а у коз группы II – 46,80 %. Незначительное, но превосходящее значение показателя полного удлинения пуховых волокон было зафиксировано у коз группы I – 46,98 % против 46,85 % у коз группы II. Исследование показало, что в шерсти коз из высокопродуктивной группы (первая группа) содержится большее количество жизненно важных элементов, играющих ключевую роль в жизнедеятельности животных. Так, содержание меди (Cu) было на 1,14 % выше, хрома (Cr) – на 18,84 %, цинка (Zn) – на 1,83 %, а селена (Se) – на 2,45 %. При этом, наблюдалась сезонная динамика содержания некоторых элементов. Так, количество марганца (Mn), кобальта (Co), меди (Cu), железа (Fe) в шерсти обеих групп снижалось весной по сравнению с зимним периодом. Напротив, содержание хрома (Cr) увеличивалось весной как в высокопродуктивной, так и в менее продуктивной группе (вторая группа). Содержание цинка (Zn) снизилось весной в обеих группах. Содержание селена (Se) повысилось весной в обеих группах. Содержание йода (I) снизилось весной в обеих группах. Таким образом, для повышения эффективности получения пуха у коз целесообразно проведение исследования сезонной динамики минерального состава шерсти в зависимости от продуктивности и с последующей корректировкой в составе рациона отдельных микро и макроэлементов по сезонам года на основе полученных данных.

Ключевые слова: козоводство, пуховые козы, содержание пуховых коз, продуктивность пуховых коз.

Цитирование. Харламов А. В., Фролов А. Н., Панин В. А. Продуктивность и минеральный статус коз в зимний и весенний период. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 289-300. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-32.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одним из условий наращивания объемов производства пуха в РФ является повышение продуктивных качеств пуховых коз при правильно сформированных условиях их содержания.

В последние годы, на фоне сложной ситуации в сельском хозяйстве, часто не соблюдаются нормативные режимы кормления животных. В таких условиях наследственные характеристики разных видов животных не проявляются в их фенотипе в полной мере. Это значительно затрудняет объективную оценку животных, что, в свою очередь, усложняет правильный отбор и подбор при проведении любых селекционных мероприятий [1-3].

Способность организма компенсировать временные задержки в росте и развитии является естественным свойством всех живых существ. Уровень компенсации недоразвития зависит от множества факторов, среди которых в качестве основных можно выделить вид и породу животных, их возраст, силу и продолжительность воздействия неблагоприятного фактора, а также условия существования, которые могут значительно помочь в восполнении утраченных признаков на предыдущих этапах онтогенеза [4-6].

Козоводство и овцеводство направлено на обеспечение продовольственной безопасности страны и решением стратегических задач по устойчивому развитию аграрных территорий [7, 8]. Производство как козоводческой, так и овцеводческой продукции может сопровождаться рядом факторов, снижающих продуктивность животных. Обеспечение овец кормами высокого качества, а также применение кормовых добавок – неотъемлемая часть технологии производства [9-13]. Навыки использования кормовых добавок обнаружили положительный эффект воздействия на сельскохозяйственных животных, увеличивая их продуктивные качества [14]. При этом следует отметить, что существенный интерес представляют минеральные вещества, стимулирующие физиологические процессы организма, включая рост метаболизма, иммунитет и пищеварение [15-18].

Ранее проведенные исследования показали, что правильное питание играет ключевую роль в успешном выращивании различных животных. Сбалансированный рацион, соответствующий возрасту животных, позволяет им расти и развиваться гармонично, быть более продуктивными и давать высококачественную продукцию. Здоровье животных также напрямую зависит от питания [19, 20]. Поэтому при уходе за пуховыми козами важно уделять особое внимание содержанию минеральных веществ в их рационе в разные сезоны года на каждом этапе формирования продуктивности.

При правильном подходе применения минеральных добавок, замедляющих снижение продуктивных качеств коз, возможно достичь минимальных значений понижения пуховой продуктивности и обеспечить стабильно высокую продуктивность.

Недостаточное количество исследований, направленных на оценку эффективности внедрения отбора коз по элементному статусу в условиях разных сезонов года (зима, весна), изучение степени влияния на пуховую продуктивность и качество пуха коз, обуславливает целесообразность предоставленного направления исследования.

В связи с вышеизложенным целью представленной работы являлось проведение исследования по изучению продуктивности и показателей шерстного покрова пуховых коз оренбургской породы при использовании оценки элементного статуса особей в условиях зимнего и весеннего содержания на комплексе.

Следовательно, проведение исследования, направленного на изучение сезонных изменений в показателях продуктивности и минерального состава шерсти коз в климатических условиях Оренбургской области, является актуальным.

Материалы и методы. Исследования проведены в СПК (колхоз) «Донской» Оренбургской области. Для проведения исследования были сформированы по принципу аналогов внутри каждой группы, две группы коз в возрасте двух лет по 16 голов (I-II группы) в каждой (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – The scheme of the Experiment

Группа, / Group	Количество, гол. / Number of Goats	Продуктивный интервал, г / Productive interval, grams (min-max)	Возраст при проведении чекки, мес. / Age during cleaning, months.	Месяц года, взятие образцов для исследования / Month of the year, taking samples for research	Материал для исследования / Research material
I	16	261-381	24	январь, март / January, March	образцы ерстного покрова, кровь, (март – пух) / Samples of coat, blood, (March – down)
II	16	151-256	24	январь, март / January, March	

Величина пуховой продуктивности определялась по результатам двукратной чески. Определяемые показатели: начес, тонина, абсолютная и относительная крепость, и растяжимость, естественная и истинная длина пуховых волокон, элементный состав крови и шерсти.

Результаты и обсуждение. Эксперимент выполнен на подопытном поголовье коз оренбургской породы в разные сезоны года. Отбивку коз в группы для выполнения опыта осуществляли по методике «Основы опытного дела в животноводстве». Определение качества пухового волокна проводили в лаборатории биологических испытаний и экспертиз ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, а также отделе технологии мясного скотоводства и производства

говядины по методикам: «Методика определения количественного соотношения и тонины волокон различных типов», «Методика определения истинной длины шерсти». С целью суждения о разном уровне показателей пуховой продуктивности коз (151-256 г и 261-381 г) в марте месяце провели учет начеса пуха во время чески, взвешивание и исследование отобранных образцов, расчет относительных показателей, результаты которых представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2 – Показатели начеса и качества пуха, ($X \pm mx$)Table 2 – Indicators of fluff and down quality, ($X \pm mx$)

Показатель / Indicator		Группа / Group	
		I	II
начес, г / fleece, g		311,63 $\pm$ 16,73	214,44 $\pm$ 17,16
истинная длина, см / cm true length, cm		6,93 $\pm$ 0,14	6,90 $\pm$ 0,13
тонина, мкм / tonin, microns		16,68 $\pm$ 0,068	16,61 $\pm$ 0,078
Полное удлинение, % / Full lengthening, %		46,98 $\pm$ 0,42	46,92 $\pm$ 0,49
Вид деформации: / Type of deformation:			
общая, % / total, %		88,6	88,6
в том числе: / including:			
упругая, % / elastic, %		22,6	22,8
эластическая, % / elastic, %		4,1	4,0
Зима / Winter	содержание пуха в шерстном покрове в январе месяце, % / the content of down in the wool in January, %	62,10 $\pm$ 1,21	52,20 $\pm$ 1,62
	содержание ости в шерстном покрове в январе месяце, % / the content of awn in the wool in January, %	37,20 $\pm$ 1,25	47,00 $\pm$ 1,29
	содержание переходного волоса в шерстном покрове в январе, % / the content of transitional hair in the wool in January, %	0,70 $\pm$ 0,09	0,80 $\pm$ 0,12
Весна / Spring	содержание пуха в шерстном покрове в марте месяце, % / down content in wool in March, %	62,20 $\pm$ 1,34	52,40 $\pm$ 1,41
	содержание ости в шерстном покрове в марте месяце, % / awn content in wool in March, %	37,10 $\pm$ 1,44	46,80 $\pm$ 1,32
	содержание переходного волоса в шерстном покрове в марте, % / transitional hair content in wool in March, %	0,70 $\pm$ 0,10	0,80 $\pm$ 0,10

Показатель величины пуховой продуктивности особей в I группе, составил по итогам двух чесок 311,63 г и был больше в сравнении с козами II группы на 97,19 г или 45,32 %. При этом показатель истинной длины у коз в первой группе оказался выше относительно коз второй группы на 0,03 см или 0,43 %. Тонина волокон пуха у коз второй группы равнялась 16,61 мкм. Тонина волокон коз второй в сравнении с козами первой группы была меньше на 0,07 мкм, или 0,42 %. Содержание пуха в шерстном покрове в марте у коз первой группы было на 8,9 % больше. Содержание ости в шерстном покрове в марте у коз первой группы составило 37,10 %, во второй группе 46,80.

Полное удлинение пуховых волокон у особей первой было, хотя и незначительно, но более высоким и составило 46,98 % $\pm$ 0,42 что выше в сравнении со второй на 0,13 %. На качество пуха оказывают обусловленное воздействие такие показатели, как виды деформации. Общая деформация складывается из следующих частей: обратимых (упругой и эластической) и необратимой (пластической). В большинстве случаев в процессах переработки и при использовании в изделиях пуховые волокна подвергаются натяжению в течение некоторого времени, а затем разгружаются и получают отдых. Поэтому и представляет большой интерес изучение поведения волокон в цикле нагрузка – разгрузка – отдых. Общая деформация в первой и во второй группах составила 88,6 %. В том числе пластическая деформация (свойство пуха сохранять форму после воздействия тепла, влаги и давления) в первой группе коз оказалась выше на 0,1 % в сравнении со второй группой, а упругая деформация (способность пуха восстанавливать форму после сжатия) на 0,2 % ниже. Эла-

стическая деформация (способность пуха принимать любую форму, это свойство используется при глажке тканей и при искусственной завивке) в первой группе коз составила 4,1 %, а во второй – 4,0 %. Следовательно, исходя из полученных результатов показателей пуховой продуктивности (начеса) и качества пуховых волокон можно сформулировать заключение о том, что козы первой группы обладают несколько более высокими показателями пуховой продуктивности и качества пуха. Это вызывает необходимость корректирования количества и качества получаемого пуха в сторону увеличения, что будет способствовать увеличению производства пуха и выработке более качественных и изящных изделий.

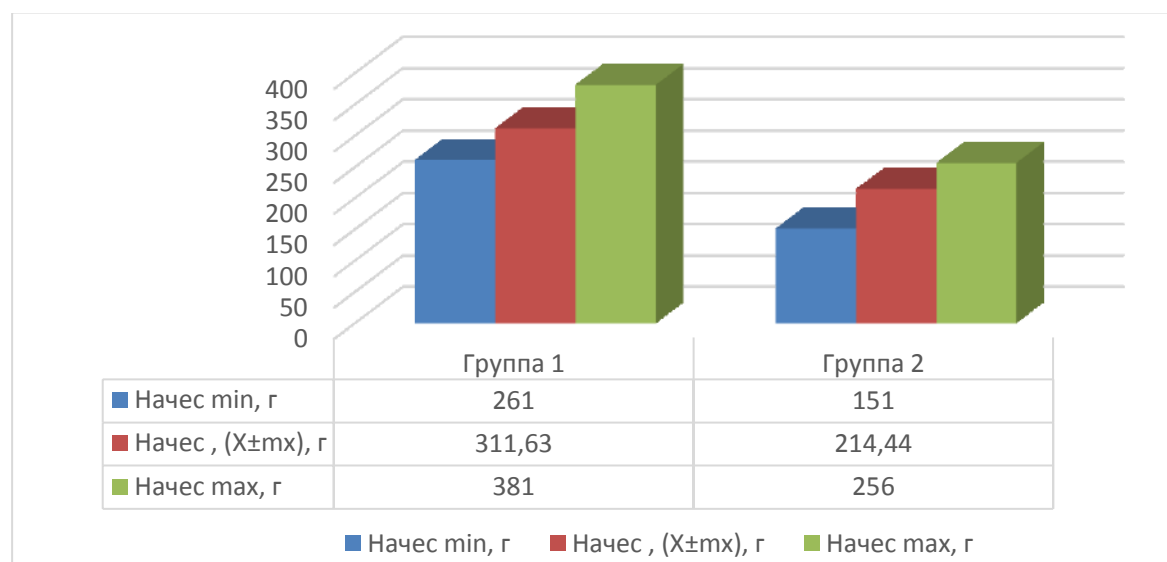


Рисунок 1 – Пуховая продуктивность исследуемых коз за две чески, г

Figure 1 – Down productivity of the studied goats in two weeks, g

Для того чтобы определить динамику изменения пуховых ворсинок при разном уровне продуктивности, были исследованы образцы и получены результаты, которые, приведены на рисунке 2.

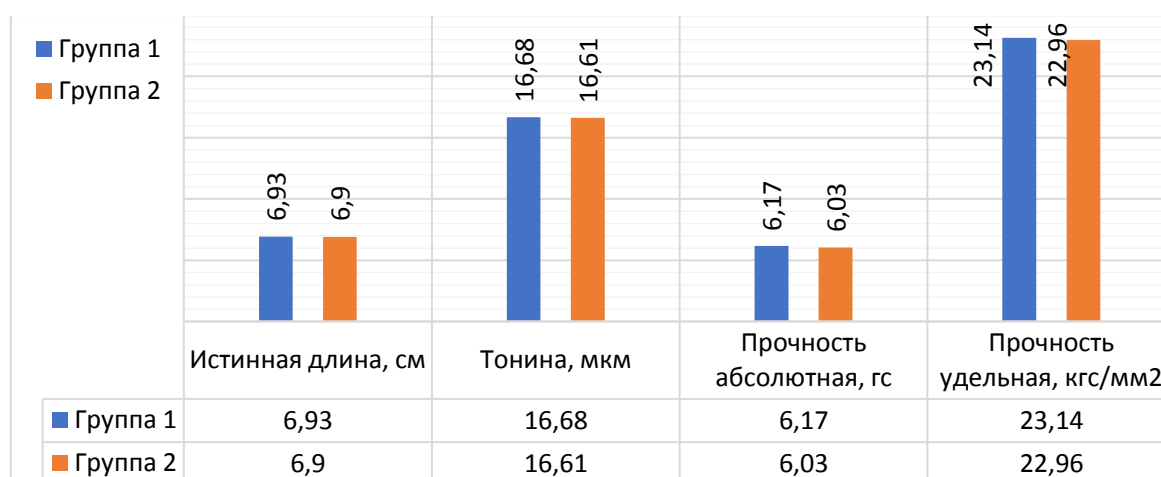


Рисунок 2 – Динамика изменения отдельных показателей пуховых ворсинок при разном уровне продуктивности

Figure 2 – Dynamics of changes in individual indicators of downy villi at different levels of productivity

Из приведенных на рисунке сведений следует, что прочность абсолютная пуховых волокон у высокопродуктивных коз имела значение – 6,17 гс, что на 0,14 гс выше, чем у менее продуктивных животных, или на 2,27 %. Удельная прочность пухового волокна высокопродуктивных особей составила 23,14 кгс/мм², это на 0,18 кгс/мм² или 0,78 % выше, в сравнении с козами второй группы, имеющими меньшую пуховую продуктивность.

Структура шерстного покрова в зимний и весенний подопытных особей показана на рисунке 3.

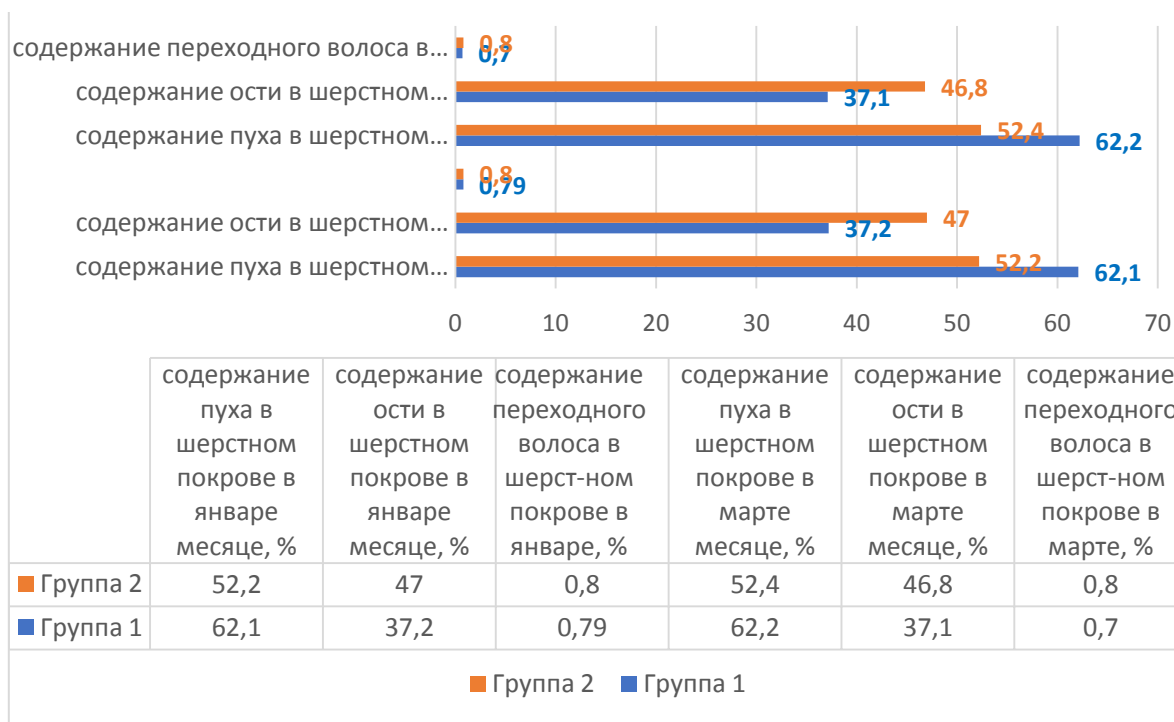


Рисунок 3 – Структура шерстного покрова в зимний и весенний период
Figure 3 – The structure of the coat in winter and spring

Анализируя рисунок, следует отметить, что содержание пуховых волокон в шерстном покрове высокопродуктивных коз составило 62,2 %, что на 0,1 % выше, чем в зимний период. У менее продуктивных разница в указанный период составила 0,2 %.

Изучение показателей структуры шерстного покрова коз в зимний и весенний периоды в сравнительном аспекте имеет определенный смысл в плане оптимизации процессов разведения. Сравнительный анализ показателей содержания пуховых волокон в шерстном покрове и показатели качества, обнаруживают более продуктивных животных и определяют оптимальные количества добавок микроэлементов в корм для достижения наибольших результатов.

Организм оренбургских пуховых коз чувствителен к недостатку минеральных веществ. Элементный состав используемых во время опыта кормов, показатели качества используемого корма и его количество в разные сезоны года оказали некоторое влияние на минеральный состав крови коз. Однако основное влияние на минеральный состав крови коз оказали продуктивные показатели в зависимости от элементного статуса организма. Выполненные исследования показателей крови указывают на имеющиеся определенные биохимические различия в составе крови между козами разных уровней продуктивности в разные сезоны года, хотя все имеющиеся отклонения находились в пределах физиологической нормы во все сезоны года (таблица 3). Подвергнутые исследованию в нашем опыте биохимические показатели крови подопытных коз находились в зависимости от уровня продуктивности и сезона года (зима, весна). В составе общего белка особей первой группы альбуминов было больше на 4,29 г/л или 24,32 % относительно коз второй группы в зимний период. В весенний период зафиксировано повышение содержания альбуминов в крови на 1,96 г/л (11,11 %) в первой группе и на 1,45 г/л (1,86 %) во второй. Установлены различия содержания в сыворотке крови коз первой и второй групп аланинаминотрансфераза (АЛТ) и аспартатаминотрансфераза (АСТ). АЛТ в крови коз первой группы было больше на 4,625 ед./л или 9,7 % в зимний период и также больше в весенний период на 10,72 ед./л или 17,52 %. АСТ в первой группе было выше на 13,34 ед./л или 16,29 % и на 17,9 ед./л или 29,22 % соответственно.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови коз оренбургской породы зимне-весенний в период, (X±mx)

Table 3 – Biochemical blood parameters of Orenburg goats of the winter-spring breed in the period, (X±mx)

Показатели / Indicators	Группа (период, мес.) / Group (period, month)			
	зима (январь) / winter (January)		весна (март) / spring (March)	
	I	II	I	II
глюкоза, ммоль/л / glucose, mmol/l	2,01±0,56	1,69±0,39	1,44±0,44	1,148±0,38
общий белок г/л / total protein g/l	29,89±9,55	23,02±6,64	28,63±11,80	20,30±6,64
альбумин, г/л / albumin, g/l	17,64±7,30	13,35 ±8,10	19,60±5,60	14,80±4,44
АЛТ, ед/л / ALT, units/l	47,66±9,95	43,03±11,22	61,20±29,73	50,48±19,15
АСТ, ед/л / AST, units/l	81,88±21,45	68,54±23,14	61,26±27,56	43,36±19,25
билирубин общий, мкмоль/л / total bilirubin, mmol/l	4,768±0,41	4,24±0,51	6,41±0,68	5,97±0,69
холестерин, ммоль/л / cholesterol, mmol/l	1,44±0,59	1,29±0,31	1,43±0,62	1,002±0,43
триглицериды, ммоль/л / triglycerides, mmol/l	1,92±0,07	1,86±0, 06	1,68±0,08	1,61±0,02
мочевина, ммоль/л / urea, mmol/l	2,0±1,20	2,4±1,28	1,74±1,08	2,10±1,40
креатинин, мкмоль/л / creatinine, mmol/l	56,8±16,03	44,3±15,10	43,10±12,80	35,60±8,77
мочевая киста, мкмоль/л / urinary cyst, mmol/l	13,79±1,04	13,21±1,02	13,80±1,17	13,18±1,11
магний, ммоль/л / magnesium, mmol/l	0,39±0,09	0,35±0,11	0,40±0,12	0,35±0,10
железо, мкмоль/л / iron, mmol/l	15,05±2,49	13,97±2,03	14,26± 6,93	11,18±1,95
кальций, ммоль/л / calcium, mmol/l	1,610±0,44	0,99±0,31	1,11±0,41	0,72±0,22
фосфор, ммоль/л / phosphorus, mmol/l	1,87±0,32	1,83±0,78	1,62±0,48	1,41±0,54

Результаты морфологической оценки крови коз оренбургской породы в зимне-весенний период также показали, соответствие их физиологический норме представлены в таблице 4. В зимний период количество гемоглобина в крови коз первой группы составляло 98,2 г/л, что больше, чем во второй, на 3,9 г/л или 3,97 %, эритроцитов – 3,211 x10¹²/л, что больше на 0,399 x10¹²/л или 12,43 % соответственно. Лейкоцитов (WBC, 10⁹/л) в крови особей первой группы содержалось 16,694 x10⁹/л что меньше, чем во второй, на 1,827 x10⁹/л или 10,94 %. В весенний период также сохранилось преимущество по содержанию в крови лейкоцитов за животными второй группы 19,644 x10⁹/л, что больше на 1,892 x10⁹/л или 9,63 %. Но в крови коз первой группы в этот период было больше гемоглобина на 3,0 г/л или 3,22 % и эритроцитов на 0,346 x10¹²/л или 11,01 %.

Таблица 4 – Морфологические показатели крови коз оренбургской породы в зимне-весенний период, (X±mx)

Table 4 – Morphological blood parameters of Orenburg goats of the winter-spring breed in the period, (X=mx)

Показатели / Indicators	Группа (период, мес.) / Group (period, month)			
	зима (январь) / winter (January)		весна (март) / spring (March)	
	I	II	I	II
WBC 10 ⁹ /л	16,69±4,50	18,52±4,11	17,75±5,14	19,64±3,84
Neu %	29,96±7,16	31,84±8,84	29,74±6,25	32,16±9,75
Lym %	56,81±8,25	56,87±8,64	56,78±8,10	56,82±9,00
Mon %	9,98±6,02	7,92±6,42	10,42±3,19	8,54±3,43
Eos %	2,41±1,07	1,17±1,11	2,54±0,94	1,88±0,85
Bas %	0,38±0,21	0, 43±0,16	0,52±0,18	0,6±0,40
RBC 10 ¹² /л	3,21±0,42	2,812±0,61	3,14±0,40	2,80±0,68
HGB g/l	98,2±7,02	94,3±5,99	93,2±4,02	90,2±7,89
HCT %	10,63±1,11	10,01±0,69	10,84±0,78	9,72±1,69

Выполненный анализ морфологических и биохимических показателей крови коз оренбургской породы в зимне-весенний периоды показал, что состав, организационная способность и функциональные особенности крови организма пуховых коз лежат в основе фундаментальных знаний о закономерностях развития различных их состояний в зависимости от продуктивности и сезона года (зима, весна). Выявленные в результате анализа содержания химических элементов в крови коз в зимний и весенний периоды обнаруживают, что минеральный состав ингредиентов рациона проявил незначительное воздействие на минеральный состав крови, тем не менее минеральный состав крови коз зависел в большей степени от сезона года и продуктивности особи.

Для роста шерсти важны основные микроэлементы – железо, селен, цинк, кальций, хром, медь, йод, марганец и кремний. Важнейшую роль в вопросах роста и силы пуховых волокон играют макро- и микроэлементы. Важно знать, какие вещества более необходимы для пуховых волокон. Химические элементы в свободном состоянии и в виде множества химических соединений входят в состав всех клеток и тканей организма коз. Они являются строительным материалом, важными катализаторами различных биохимических реакций, непременными и незаменимыми участниками процессов роста и развития организма, шерстного покрова, обмена веществ, адаптации к меняющимся условиям окружающей среды в разные сезоны года. Физиологическое действие различных элементов зависит от их дозы в разные периоды года. Поэтому токсичные элементы (мышьяк, ртуть, сурьма, кадмий и др.) при низких концентрациях могут действовать на организм как лекарство (оказывая тем самым саногенетическое воздействие), тогда как натрий, калий, кальций, железо, магний и ряд других элементов в высоких концентрациях могут обладать выраженным токсическим эффектом.

Для осуществления жизненно важных функций при формировании продуктивных качеств коз у каждого элемента существует оптимальный диапазон концентраций. При дефиците или избыточном накоплении элементов в организме коз могут происходить серьезные изменения, обуславливающие нарушение активности прямо или косвенно зависящих от них ферментов. В организме химические элементы находятся преимущественно в виде соединений, избыточное образование или распад которых может приводить к нарушению так называемого металло-лигандного гомеостаза, а в дальнейшем и к развитию патологических изменений. Элементы – металлы и лиганды (например, глутаминовая, аспарагиновая, липоевая, аскорбиновая кислоты) могут выступать в качестве активаторов или ингибиторов различных ферментов, что обуславливает их существенную роль в формировании продуктивности и терапии различных заболеваний. Оценка элементного статуса коз оренбургской породы является основным вопросом определения влияния на здоровье козы дефицита, избытка или нарушения тканевого перераспределения макро- и микроэлементов. Определение элементного состава шерстного покрова используется: при мониторинге состояния здоровья, оценке уровня продуктивности; при формировании групп риска козы по гипо- и гиперэлементозам; при подборе целесообразного рациона как высокопродуктивным, так и низкопродуктивным животным по сезонам года; при оценке взаимозависимости многосторонних связей цепи “животное – среда обитания – сезон года”; при составлении карт экологического природного и техногенного неблагополучия регионов, мест летнего выпаса и зимнего содержания коз.

В нашем опыте у высокопродуктивных коз (I группа) в весенний период содержание Na (Натрий) в шерстном покрове было ниже – 505,742 мкг/г по сравнению с низкопродуктивными на 182,362 мкг/г или 36,06 %. По сравнению с зимним в весенний период содержание Na незначительно снижается в первой группе на 9,111 мкг/г или 1,77 %, во второй на 4,108 мкг/г или 0,59 %. Содержание Mg высокопродуктивных коз (I группа) в шерстном покрове в весенний период было практически таким же, как и у низкопродуктивных (II группа) – 518,845 – 518,835 мкг/г, и не изменилось существенно по сравнению с зимним периодом в обеих группах. Количество K – весной в шерсти коз первой группы превышало этот показатель второй группы на 328,906 мкг/г или 11,19 %. По сравнению с зимним периодом количество K – весной повысилось в обеих группах. Содержание в шерсти Ca наоборот понизилось весной по сравнению с зимним периодом в обеих группах. Весной количество Ca в первой группе было меньше по сравнению с шерстным покровом коз второй группы на 23,34 мкг/г или 1,39 %.

Жизненно необходимые (эссенциальные) элементы, которые постоянно присутствуют в организме и для которых обнаружена их исключительная роль в обеспечении жизнедеятельности коз в большем количестве присутствовали в шерсти коз первой группы. Так, Cu (Медь) содержалось на 0,057 мкг/г или 1,14 %. Содержание Cr (Хром) было выше на 0,236 мкг/г или 18,84 %. Zn содержалось в шерсти первой группы больше на 1,42 мкг/г или 1,83 %. Se содержалось в шерсти коз первой группы больше на 0,023 мкг/г или 2,45 %. Количество содержащегося в шерсти Mn (Марганец) снижается с 8,724 мкг/г в зимний период до 8,698 мкг/г весной в первой группе и с 9,266 до 9,216 мкг/г во второй группе соответственно. Содержание Co (Кобальт) снижается с 0,103 мкг/г в первой группе зимой до 0,085 мкг/г в весенний период и во второй с 0,099 мкг/г зимой до 0,091 весной. Концентрация Cu (Медь) в шерстном покрове также понижается с 5,106 мкг/г (зимний период) до 4,999 мкг/г весной у продуктивных коз (I группа) и с 5,089 мкг/г до 4,942 у низкопродуктивных соответственно. Содержание Fe (Железо) снижается с 117,321 мкг/г зимой до 102,782 мкг/г весной в первой группе и также снижается во второй группе с 115,443 до 111,334 мкг/г в аналогичные сезоны года. Количество содержания в шерстном покрове Cr (Хром) повысилось с 0,706 мкг/г в зимний период до 1,250 мкг/г весной в группе высокопродуктивных коз и увеличилось с 0,645 зимой до 1,174 мкг/г весной в группе менее продуктивных. А содержание Zn (Цинк), наоборот, понизилось с 78,457 мкг/г зимой до 77,564 мкг/г весной в первой группе и с 77,613 до 76,141 мкг/г во второй соответственно. Количество в шерсти коз первой группы Se (Селен) повысилось с 0,924 мкг/г (зима) до 0,939 мкг/г (весна) и повысилось его содержание в шерсти животных второй группы с 0,908 зимой до 0,916 мкг/г в весенний месяц. Содержание I (Йод), наоборот, понизилось с 0,587 мкг/г зимой до 0,580 мкг/г весной в первой группе и с 0,620 до 0,611 мкг/г во второй соответственно.

Содержание условно-эссенциальных (жизненно-важных, но вредных в определенных концентрациях) элементов в шерсти также менялось по сезонам года и зависело (определялось) или определяло (влияло) пуховую продуктивность коз.

Концентрация токсичных элементов Al (Алюминий), Sr (Стронций), Cd (Кадмий) в шерстном покрове снижается в весенний период по сравнению с зимним, а Pb (Свинец), Sb (Сурьма), Hg (Ртуть) наоборот повышается. Содержание в шерсти Be (Бериллий) – не меняется по сезонам года и в обеих группах и зимой и летом составляет 0,003 мкг/г.

Потенциально-токсичный элемент Sn (Олово) содержится в шерсти особей первой группы в количествах – 0,111 мкг/г зимой и 0,110 мкг/г летом и второй группы – 0,187 мкг/г и 0,190 мкг/г соответственно.

Заключение. При проведении эксперимента изучены сезонные изменения элементного статуса коз оренбургской породы в зависимости от их продуктивных качеств. Установлено, что показатели концентрации химических элементов в крови и шерстном покрове коз в разные сезоны года имеют различия и обусловлены показателями продуктивности. В показателях содержания химических элементов в крови и шерстном покрове в зимний и весенний периоды можно отметить отдельные выделившиеся элементы. Среди макроэлементов это – Na (Натрий), K (Калий), Ca (Кальций). Среди эссенциальных элементов – Cr (Хром), Zn (Цинк) и Se (Селен). Среди условно-эссенциальных элементов – B (Бор), Li (Литий), Ag (Серебро). Среди токсичных элементов – Pb (Свинец). Полученные результаты способствует в дальнейшей работе корректировать в составе рациона отдельные микро и макроэлементы по сезонам года с целью недопущения снижения продуктивности коз. В состав корма необходимо включать добавки элементов или их солей – K, Ca и B, Cr, Zn, Se, B, Li и Ag в осенней и зимний период с целью реализации генетического потенциала пуховых коз и недопущению снижения их продуктивности в периодически.

Conclusions. During the experiment, seasonal changes in the elemental status of Orenburg goats were studied depending on their productive qualities. It was found that the concentration of chemical elements in the blood and coat of goats in different seasons of the year have differences and are due to productivity indicators. In the indicators of the content of chemical elements in the blood and coat in the winter and spring periods, individual isolated elements can be noted. The macronutrients are Na (Sodium), K (Potassium), Ca (Calcium). Among the essential elements are Cr (Chromium), Zn (Zinc) and Se (Selenium). Among the conditionally essential elements are B (Boron), Li (Lithium), Ag (Silver). Among the toxic elements is Pb (Lead). The obtained results help in further work to adjust individual micro and macroelements in the diet according to the seasons of the year in order to prevent a decrease in goat productivity. The feed composition should include additives of elements or their salts – K, Ca and B, Cr, Zn, Se, B, Li and Ag in the autumn and winter period in order to realize the genetic potential of downy goats and prevent a decrease in their productivity during pregnancy.

Библиографический список

1. Губайдуллин Н. М., Зубайрова Л. А., Фахретдинов И. Р. Переваримость питательных веществ при включении в рацион бычков кормового концентрата Золотой Фелуцен. Известия Самарской государственной академии. 2018. № 1. С. 40-43.
2. Курдеко А. П., Хлебус Н. К., Большакова Е. И. Состояние приплода, рост и развитие поросят при гепатопатиях свиноматок. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2. С. 54-60.
3. Ухтверов А. М. Особенности роста и развития свиней крупной белой породы при различных уровнях кормления. Известия НВ АУК. 2024. № 5 (77). С. 209-219.
4. Wealleans A. L., Bierinckx K., Biondetto M. D. Fats and oils in pig nutrition factors affecting digestion and utilization. Animal feed science and technology. 2021. V. 277. P. 114950.
5. Orlov D. A., Zhuchayev K. V., Kochneva M. L., Bogdanova O. V., Jungbluth T., Hammer N., Thern J. The influence of cooling system on fattening pig weleare parameters. Biosciences biotechnology research Asia. 2016. V. 13 (2). Pp. 725-732.
6. Ivanovich N. A., Vladimirovich K. G., Borisovna T. N., Mikhailovich A. R., Raufovich G. R., Nizamovich N. R., Ivanovich V. V. Veterinary and sanitary examination of meat of the animals subjected to physical and biological effects. Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Nauchny Gorodok-2. 2016. V. 7 (4). Pp. 2207-2213.
7. Лушников В. П., Стрильчук А. А., Фетисова Т. О. Эффективность использования баранчиков эдильбаевской и татарстанской породы в производстве молодой баранины. Аграрная наука и инновационное развитие животноводства – основа экологической безопасности продовольствия: материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов, 2023. С. 107-110.
8. Шперов А. С., Чамурлиев Н. Г., Мосолов А. А., Абдулхаликов А. М. Весовой рост и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы при использовании в рационах кормления кормовой добавки «Лактувет-1». Известия НВ АУК. 2024. № 5 (77). С. 263-270.
9. Абонеев В. В., Колосов Ю. А. О проблемах сохранения племенных ресурсов овцеводства России. Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 1. С. 43-45.
10. Колосов Ю. А., Абонеев В. В., Коцаев А. Г., Засемчук И. В., Романец Т. С. Откормочные качества и мясная продуктивность овец сальской породы улучшенных генотипов. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 154. С. 360-382.
11. Погодаев В. А., Рачков И. Г., Кононова Л. В., Смирнова Л. М., Ворсина Л. В. Влияние пробиотиков нового поколения «Бифидум Сжж» и «Зоонорм» на продуктивность молодняка овец. Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 1 (17). С. 130-141.
12. Убушаев Б. С., Натиров А. К., Салаев Б. К., Мороз Н. Н., Кугультинова Д. А. Эффективность использования природной минеральной кормовой добавки при выращивании молодняка овец. Аграрно-пищевые инновации. 2021. № 2 (14). С. 59-67.
13. Шперов А. С., Чамурлиев Н. Г., Ряднов А. А., Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Коцаев А. Г. Влияние кормовой добавки «Кумелакт-1» на весовой рост и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 112. С. 276-282.
14. Рябцева С. А., Храмцов А. Г., Будкевич Р. О., Анисимов Г. С., Чукло А. О., Шпак М. А. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы. Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 2. С. 5-20.
15. Горлов И. Ф., Калинина Н. В., Сложенкина М. И., Комарова З. Б., Рудковская З. Б., Должанов П. Б., Березина О. А. Влияние новой фитопребиотической кормовой добавки на хозяйственно-биологические показатели цыплят-бройлеров. Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 178-190.
16. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И. Применение лактулозосодержащих препаратов в животноводстве и при переработке животноводческой продукции: монография. Волгоград: ООО «СФЕРА», 2020. 152 с.
17. Комарова З. Б., Калинина Н. В., Сложенкина М. И., Струк Е. А. Эффективность влияния пребиотической кормовой добавки на продуктивность, антиоксидантную защиту и иммунологический статус кур. Аграрно-пищевые инновации. 2023. № 1 (21). С. 42-52.
18. Брехова С. А., Сложенкина М. И., Обрушников Л. Ф. Лактулозосодержащие кормовые добавки как фактор прижизненного формирования качественной и безопасной продукции. Аграрно-пищевые инновации. 2022. Т. 20. № 4. С. 51-64.
19. Горлов И. Ф. и др. Влияние нетрадиционных кормов в рационе кур-несушек на их хозяйственно-биологические показатели. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 330-338.
20. Gorlov I. F., et al. Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. Small Ruminant Research. 2017. V. 150. Pp. 11-14.

References

1. Gubaidullin N. M., Zubairova L. A., Fakhretdinov I. R. Digestibility of nutrients when including Golden Felucene feed concentrate in the diet of bulls. News of the Samara State Academy. 2018. No 1. Pp. 40-43.
2. Kurdeko A. P., Khlebus N. K., Bolshakova E. I. The condition of offspring, growth and development of piglets with hepatitis of sows. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2022. No 2. Pp. 54-60.
3. Ukhtverov A. M. Features of growth and development of large white breed pigs at different feeding levels. Proceedings of the Nizhnevolsky Agrouniversity complex: science and higher professional education. 2024. No 5 (77). Pp. 209-219.
4. Vealleans A. L., Birinks K., Biondetto M. D. Fats and oils in the diet of pigs: factors affecting digestion and utilization. Science and technology in the field of animal feed. 2021. V. 277. P. 114950.
5. Orlov D. A., Zhuchayev K. V., Kochneva M. L., Bogdanova O. V., Jungbluth T., Hammer N., Term J. The effect of the cooling system on the health indicators of pigs during fattening. Biosciences biotechnology research Asia. 2016. Issue 13 (2). Pp. 725-732.
6. Ivanovich N. A., Vladimirovich K. G., Borisovna T. N., Mikhailovich A. R., Raufovich G. R., Nizamovich N. R., Ivanovich V. V. Veterinary and sanitary examination of meat of animals exposed to physical and biological effects. Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Scientific Campus-2. 2016. Vol. 7 (4). Pp. 2207-2213.
7. Lushnikov V. P., Strilchuk A. A., Fetisova T. O. The effectiveness of using sheep of the Edilba and Tatarstan breeds in the production of young mutton. Geographical science and innovative development of animal husbandry – a general collective branch of production: mathematics and a national scientific and practical conference with international participation. Saratov, 2023. Pp. 107-110.

8. Shperov A. S., Chamurliov N. G., Mosolov A. A., Abdulkhalikov A.M. Weight growth and slaughter qualities of sheep of the Edilbaev breed when using the Lactuvet-1 feed additive in feeding diets. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity complex: science and higher professional education. 2024. No 5 (77). Pp. 263-270.
9. Aboneev V. V., Kolosov Yu. A. On the problems of preserving the breeding resources of sheep breeding in Russia. Sheep, goats, wool business. 2020. No 1. Pp. 43-45.
10. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V., Koshchaev A. G., Zaremchuk I. V., Romanets T. S. Fattening qualities and meat productivity of sheep of the Salsky breed of improved genotypes. Polythematic network eltron scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2019. No 154. Pp. 360-382.
11. Pogodaev V. A., Rachkov I. G., Kononova L. V., Smirnova L. M., Vorsina L. V. The effect of new generation probiotics "Bifidum Shj" and "Zoonorm" on the productivity of young sheep. Agricultural Journal. 2024. No 1 (17). Pp. 130-141.
12. Ubushaev B. S., Natyrov A. K., Salaev B. K., Moroz N. N., Kugultinova D. A. The effectiveness of using a natural mineral feed additive in the cultivation of young sheep. Agricultural and food innovations. 2021. No 2 (14). Pp. 59-67.
13. Shperov A. S., Chamurliov N. G., Ryadnov A. A., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Koschaev A. G. The effect of the Cumelact-1 feed additive on weight growth and slaughter qualities sheep of the Edilbaev breed. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2024. No 112. Pp. 276-282.
14. Ryabtseva S. A., Khramtsov A. G., Budkevich R. O., Anisimov G. S., Chuklo A. O., Shpak M. A. Physiological effects, mechanisms of action and application of lactulose. Nutrition issues. 2020. V. 89. No 2. Pp. 5-20.
15. Gorlov I. F., Kalinina N. V., Slozhenkina M. I., Komarova Z. B., Rudkovskaya Z. B., Dolzhanov P. B., Bezrezina O. A. The effect of a new phytoprebiotic feed additive on the economic and biological parameters of broiler chickens. Animal husbandry and feed production. 2023. V. 106. No 4. Pp. 178-190.
16. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I. The use of lactose-containing drugs in animal husbandry and in the processing of livestock products: monograph. Volgograd: LLC "SIERA", 2020. 152 p.
17. Komarova Z. B., Kalinina N. V., Slozhenkina M. I., Struk E. A. The effectiveness of the effect of prebiotic feed additives on productivity, antioxidant protection and immunological status of chickens. Agricultural innovations. 2023. No 1 (21). Pp. 42-52.
18. Brekhova S. A., Slozhenkina M. I., Obrushnikova L. F. Lactulose-containing feed additives as the factor of lifetime formation of high-quality and safe products. Agricultural and food innovations. 2022. V. 20. No 4. Pp. 51-64.
19. Gorlov I. F. et al. The influence of non-traditional feeds in the diet of laying hens on their economic and biological indicators. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity complex: science and higher professional education. 2023. No 2 (70). Pp. 330-338.
20. Gorlov I. F. et al. The relationship of polymorphism of the growth hormone gene with the growth characteristics of the Salsk sheep breed. Studies of small ruminants. 2017. V. 150. Pp. 11-14.

Информация об авторах

Харламов Анатолий Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID orcid.org/0000-0002-9477-6568, e-mail: harlamov52@mail.ru

Фролов Алексей Николаевич, доктор биологических наук, заведующий отделом, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID orcid.org/0000-0001-8362-7922, e-mail: forleh@mail.ru

Панин Виктор Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID orcid.org/0000-0003-1239-1806, e-mail: oniish@yandex.ru

Authors' Information

Kharlamov Anatoly Vasilyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, 9 January str., 29), ORCID orcid.org/0000-0002-9477-6568, e-mail: harlamov52@mail.ru

Frolov Aleksey Nikolaevich, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, January 9, 29), ORCID orcid.org/0000-0001-8362-7922, e-mail: forleh@mail.ru

Panin Viktor Alekseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, 9 January str., 29), ORCID orcid.org/0000-0003-1239-1806, e-mail: oniish@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-33

MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF TILAPIA BLOOD WHEN USING GAPRIN IN THE COMPOSITION OF AQUACULTURE FEEDS

**Agapova V. N., Randelin D. A., Vorontsova E. S.,
Agapov S. Yu.**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: 55avn5@mail.ru

Received 09.12.2024

Submitted 22.05.2025

Research was carried out within the framework of the consortium "Agropriority 2030" on the topic: "Development of optimized schemes for the use of alternative protein raw materials of microbial synthesis (gaprin) for rainbow trout, sterlet and tilapia, comprehensive physiological-biochemical, or technical and economic justification of its application in aquaculture".

Summary

In the conditions of the present time, there is a way to activate modern fish farming along with new equipment and technologies. By improving methods and techniques in fish farming, new approaches are being developed in fish feeding, namely the use of "non-traditional" nutritional ingredients that can

replace expensive animal proteins. The drug gaprin belongs to this category. Gaprin is a high-protein, safe, high-quality product of microbial synthesis that has a beneficial effect on the growth, development and health of fish.

Abstract

Introduction. Industrial fish farming is an effective way of growing fish, carried out under direct human control using modern technologies, innovative methods and methods, which means maximum production in a minimum period of time with the least cost. A similar approach to fish farming consists in increasing the density of fish planting, strict control over the hydro chemical parameters of water, and effective feeding. The intensity of fish growth, as well as the quality of meat, depends on the quality of feed. The greatest attention in aquaculture is paid to nutrition, and more emphasis is placed on the content of proteins, which cannot be replaced by any other nutrients. Currently, massive research is being conducted, both to study the effects of "non-traditional" protein sources, and to develop new high-protein feed components that can reduce the introduction of expensive ingredients of animal origin. In this regard, the use of the drug gaprin is an alternative approach to the solution of replacing fish meal with microbial synthesis protein. **Object.** Juvenile tilapia. **Materials and methods.** A scientific study on the effect of gaprin on the physiological state of tilapia juveniles was conducted at the Volgograd State Agrarian University in the basin workshop "Breeding of valuable Sturgeon breeds". At the end of the experiment, the obtained blood samples were studied for its composition and content: erythrocytes, hemoglobin, hematocrit, leukocytes, monocytes, total protein, albumin, ALT, bilirubin, creatinine, urea, triglycerides, alkaline phosphatase, glucose, phosphorus, calcium, iron, chlorides. The experimental material obtained was subjected to biometric processing using Microsoft Office software. As part of this process, an application was used to determine the criterion for the validity of the difference according to Student-Fisher. **Results and conclusion.** As a result of the study, it was found that all blood counts of tilapia juveniles were within the physiological norm. It was noted that the highest levels of erythrocytes and hemoglobin were recorded in fish of the 2nd, 3rd and 4th experimental groups that consumed gaprin as part of aquaculture and exceeded the 1st control group (by 0.14, 0.08 and 0.24*10¹²/l and by 3.5, 5.2 and 7.00 g/l). It was also found that in the blood of all experimental tilapia groups, the leukocyte content had no significant differences. In the Fish of the 3 experimental group, the monocyte content in the blood was higher than in the 1 control, 2 and 4 experimental groups (by 1.2 %, 0.7 % and 1.1 %). The concentration of lymphocytes in the blood of the 1st control group was lower than in the fish of the 2nd experimental group by 2.8 %, the 3rd experimental group by 4.5 %, and the 4th experimental group by 1.9%, respectively. In hydrobionts of the 2nd experimental group, the ALT index in the blood was lower than in 1, 3 and 4 groups (by 3.4 %, 1.7 % and 7.0 %), and the AST index in 2, 3 and 4 experimental variants was higher than in the control by 1.7, 2.8 and 3.1 %, respectively. Representatives of the 2, 3 and 4 experimental groups who were fed aquafeed with gaprin prevailed in terms of total protein content in the blood of juveniles over 1 control group (by 4.3 %, 7.2 % and 10.3 %). The albumin level in the blood of fish of the 2nd, 3rd and 4th experimental groups was higher than that of the 1st control group (by 13.0 %, 18.5 % and 9.3 %). The level of total and direct bilirubin in the blood of the fish of the control and experimental groups did not have significant differences. In the blood samples of all the experimental hydrobionts, the level of ESR was within the normal range at the level of 4.7-4.9 mm/h.

Keywords: gaprin, products of microbial synthesis, tilapia, tilapia blood parameters, tilapia feeding.

Citation. Agapova V. N., Randelin D. A., Vorontsova E. S., Agapov S. Yu. Morphological and biochemical parameters of tilapia blood when using gaprin in the composition of aquaculture feeds. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 300-309 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-33.

Author's contribution. The authors who carried out the study agreed on this version of the article.

Conflict of interest. The authors who participated in the writing of this article have no objections to this variation of the presentation of the study.

УДК 639.3.043

МОРФОБИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ТИЛАПИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАПРИНА В СОСТАВЕ АКВАКОРМОВ

Агапова В. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

Ранделин Д. А., доктор биологических наук, доцент

Воронцова Е. С., кандидат биологических наук

Агапов С. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках консорциума «Агроприоритет 2030» по теме: «Разработка оптимизированных схем использования альтернативного белкового сырья микробного синтеза «Гаприн» для радужной форели, стерляди и тилапии, комплексное физиолого-биохимическое, зоотехническое и экономическое обоснование его применения в аквакультуре».

Актуальность. Индустриальное рыбоводство – эффективный способ выращивания рыбы, осуществляемый под прямым контролем человека с использованием современных технологий, инновационных методов и способов, под которым подразумевается максимальное получение продук-

ции за минимальный промежуток времени с наименьшими затратами. Подобный подход к ведению рыбоводства заключается в увеличении плотности посадки рыбы, строгий контроль за гидрохимическими показателями воды, эффективное кормление. От качества кормов зависит интенсивность роста рыбы, а также качество мяса. Наибольшее внимание в аквакультуре уделяется питательности, а основной акцент направлен на содержание высококачественного белка (сочетания заменимых и незаменимых аминокислот), так как его невозможно заменить никакими другими нутриентами. В настоящее время проводятся массовые исследования как по изучению влияния «нетрадиционных» источников белка, так и по разработке новых высокобелковых компонентов корма, способных снизить ввод дорогостоящих ингредиентов животного происхождения. **Объект.** Молодь тилапии. **Материалы и методы.** Научное исследование по влиянию гаприна на физиологическое состояние молоди тилапии проводилось в ФГБОУ ВО «ВолГАУ» в бассейновом цехе «Разведение ценных пород осетровых». По окончании опыта полученные образцы крови подвергались изучению ее состава и содержания: эритроцитов, гемоглобина, гематокрита, лейкоцитов, моноцитов, общего белка, альбумина, АЛТ, билирубина, креатинина, мочевины, триглицеридов, щелочной фосфатазы, глюкозы, фосфора, кальция, железа, хлоридов. Полученный экспериментальный материал был подвергнут биометрической обработке с использованием программного обеспечения Microsoft Office. В рамках этого процесса использовалось приложение для определения критерия достоверности разности по Стьюденту-Фишеру. **Результаты и выводы.** В результате проведенного исследования было установлено, что все показатели крови молоди тилапии находились в пределах физиологической нормы. Отмечено, что наибольший уровень содержания эритроцитов и гемоглобина был зафиксирован у рыб 2, 3 и 4 опытных групп, употреблявших гаприн в составе аквакормов, и превосходил по данному показателю 1 контрольную группу (на 0,14, 0,19 и 0,24*10¹²/л и на 3,5, 5,2 и 7,00 г/л, соответственно). Установлено также, что в крови всех подопытных групп тилапии содержание лейкоцитов не имело существенных различий. У рыб 3 опытной группы содержание моноцитов в крови было больше, нежели у гидробионтов 1 контрольной, 2 и 4 опытных групп (на 1,2 %, 0,7 % и 1,1 %). Концентрация лимфоцитов в крови 1 контрольной группы была ниже, чем у 2 опытной группы на 2,8 %, 3 опытной группы – на 4,5 %, 4 опытной группы – на 1,9 %, соответственно. У гидробионтов 2 опытной группы показатель АЛТ в крови был ниже, чем в 1, 3 и 4 группах (на 3,4 %, 1,7 % и 7,0 %), а показатель АСТ в 2, 3 и 4 опытных вариантах был выше, чем в контроле на 1,7, 2,8 и 3,1 %, соответственно. Представители 2, 3 и 4 опытных групп, которым скармливались аквакорма с гаприном, превалировали по содержанию общего белка в крови молоди над 1 контрольной группой (на 4,3 %, 7,2 % и 10,3 %). Уровень альбумина в крови рыб 2, 3 и 4 опытных групп был выше, чем у 1 контрольной группы (на 13,0 %, 18,5 % и 9,3 %). Уровень содержания билирубина общего и прямого в крови рыб контрольной и опытных групп не имел существенных различий. В образцах крови всех подопытных гидробионтов уровень СОЭ находился в пределах нормы на уровне 4,7–4,9 мм/ч.

Ключевые слова: гаприн, продукты микробного синтеза, тилапия, показатели крови тилапии, кормление тилапии.

Цитирование. Агапова В. Н., Ранделин Д. А., Воронцова Е. С., Агапов С. Ю. Морфобиохимические показатели крови тилапии при использовании гаприна в составе аквакормов. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 300–309. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-33.

Авторский вклад. Авторы, осуществившие исследование, согласовали данную версию статьи.

Конфликт интересов. Авторы, участвовавшие в написании данной статьи, не имеют возражений в данной вариации изложения исследования.

Введение. Культивирование тилапии во многих странах имеет важное значение и считается перспективным направлением в аквакультуре Российской Федерации, так как она является неприхотливой рыбой в процессе выращивания, отлично переносит высокие температурные режимы, низкое содержание кислорода и высокую концентрацию аммиака, при этом имеет высокие показатели выживаемости при значительной плотности посадки. Часто тилапию выращивают совместно с другими видами рыб, например, карпами. Цихловые рыбы способны нереститься каждые 3–6 месяцев при благоприятных условиях, в связи с этим не нужно дополнительных затрат для инкубации икры, так как самки сами «вынашивают» потомство во рту. Выращивание тилапии возможно в УЗВ, а также в прудовых хозяйствах в теплое время года. Диапазон питания довольно широкий, рыба может питаться кормами как растительного, так и животного происхождения, детритом [7, 8].

Несмотря на такую малотребовательность в процессе культивирования тилапии, известно, что содержание белка в кормах в зависимости от периода ее развития может находиться в диапазоне от 28 до 50 % [4, 6, 11]. Известно, что основным источником белка в аквакультуре – рыбная мука. Стоимость данного компонента корма достаточно высокая, а качество не всегда соответствует заявленному ГОСТу. Поэтому применение в кормах высокобелкового препарата гаприна с целью частичной замены рыбной муки будет считаться актуальным и менее затратным [9, 12, 14].

В настоящее время проводятся массовые исследования как по изучению влияния «нетрадиционных» источников белка, так и по разработке новых высокобелковых компонентов корма, способных снизить ввод дорогостоящих ингредиентов животного происхождения [3, 13, 15]. Поэтому применение препарата гаприна является альтернативной в решении замены рыбной муки в аквакормах [5].

Цель исследования – оценка воздействия гаприна в составе кормов для рыб на гематологические показатели тилапии.

Материалы и методы. Исследования проводились на молоди тилапии, из которой было сформировано 4 группы по 100 голов в каждой. На начало проведения опыта средний вес рыб был в пределах 64-65 грамм. Протяженность опыта составила 2 месяца.

Молоди скормливались корма четырех вариантов. Первый вариант – основной рацион (1 контрольная группа); второй вариант – основной рацион + гаприн 25 % взамен рыбной муки (2 опытная группа); третий вариант – основной рацион + гаприн 50 % взамен рыбной муки (3 опытная группа); четвертый вариант – основной рацион + гаприн 75 % взамен рыбной муки (4 опытная группа) (таблица 1).

Таблица 1 – Схема исследования на молоди подопытной тилапии

Table 1 – Scheme of research on juvenile tilapia

Группы / Рационы Groups / Diet	Количество особей, шт. / Number of individuals, pcs.	Количество дней эксперимента / Number of days of the experiment
1 контрольная (Основной Рацион) / 1 control (Basic Diet)	100	60
2 опытная / ОП с заменой рыбной муки на 25 % гаприном / 2 Experimental / BD with 25 % Gasrine Replacement of Fishmeal	100	60
3 опытная / ОП с заменой рыбной муки на 50 % гаприном / 3 experimental / BD with 50 % replacement of fishmeal with gaprin	100	60
4 опытная / ОП с заменой рыбной муки на 75 % гаприном / 4 experimental / BD with 75 % replacement of fishmeal with gaprin	100	60

Все корма для подопытной молоди тилапии были изготовлены на Волгоградском предприятии ООО «Инновация» по рецептам, ранее сбалансированным в программе «Корм Оптима». Состав кормов – ингредиенты животного, растительного происхождения и высокобелковый продукт микробного синтеза – гаприн. Питательность кормов, размер гранул соответствовали возрасту, физиологическому состоянию гидробионтов. Аквакорма скормливались рыбе с учетом их веса.

Определение влияния гаприна на физиологическое состояние тилапии осуществлялось посредством изучения состава крови, полученной прижизненно путем отсечения хвостового стебля из хвостовой артерии. Кровь собиралась в пробирки с антикоагулянтами.

Результаты и обсуждение. Изучение показателей крови подопытной нильской тилапии было одной из важных целей проведенного научного опыта, в рамках которого гидробионтами употреблялись аквакорма, имеющие различия по объему введенного белкового микробного препарата гаприна взамен рыбной муки [2]. Корма имели следующий состав: пшеница, шрот соевый, кукурузный глютен, мука мясная, мука рыбная, мука кровяная, жир рыбий, масло подсолнечное, гаприн (вводился в установленных пропорциях в корма для рыб 2, 3 и 4 опытных групп).

Всесторонний анализ состава кормов, проведенный в рамках исследования на молоди нильской тилапии, отражен на рисунках 1, 2, 3 и 4.

В современных условиях на предприятиях аквакультуры, занимающихся искусственным культивированием гидробионтов, стоит задача обеспечения объектов выращивания белками высокого качества, имеющими «подходящий» аминокислотный профиль. Количество и соотношение заменимых и незаменимых аминокислот отражает истинное качество белка, от которого будет зависеть не только интенсивный прирост ихтиомассы, здоровье особей, а также вкус «конечного» продукта.

Содержание незаменимых аминокислот в кормах для подопытных рыб, представленное на рисунке 1, указывает, что уровень гистидина, аргинина, треонина, валина, фенилаланина и метионина был больше в рационах 2, 3 4 опытных групп, по отношению к

контрольной группе и составлял: (0,01 %, 0,05 %, 0,05 %); (0,04 %, 0,11 %, 0,13 %); (0,1 %, 0,17 %, 0,23 %); (0,09 %, 0,18 %, 0,28 %); (0,06 %, 0,11 %, 0,14 %) и (0,03 %, 0,05 %, 0,06 %), соответственно. Таких аминокислот, как изолейцин, было обнаружено в основном рационе больше, чем в кормах для рыб 2, 3 и 4 опытных групп на 0,14 %, 0,28 %, 0,34 %; лейцин – на 0,21 %, 0,48 %, 0,71 %; триптофан – на 0,05 %, 0,07 %, 0,11 %. Также установлено, что лизин в наибольшей концентрации находился в аквакормах 2 опытной группы в сравнении с 1, 3 и 4 группами (на 0,01 %, 0,03 %, 0,02, соответственно) (рисунок 1).

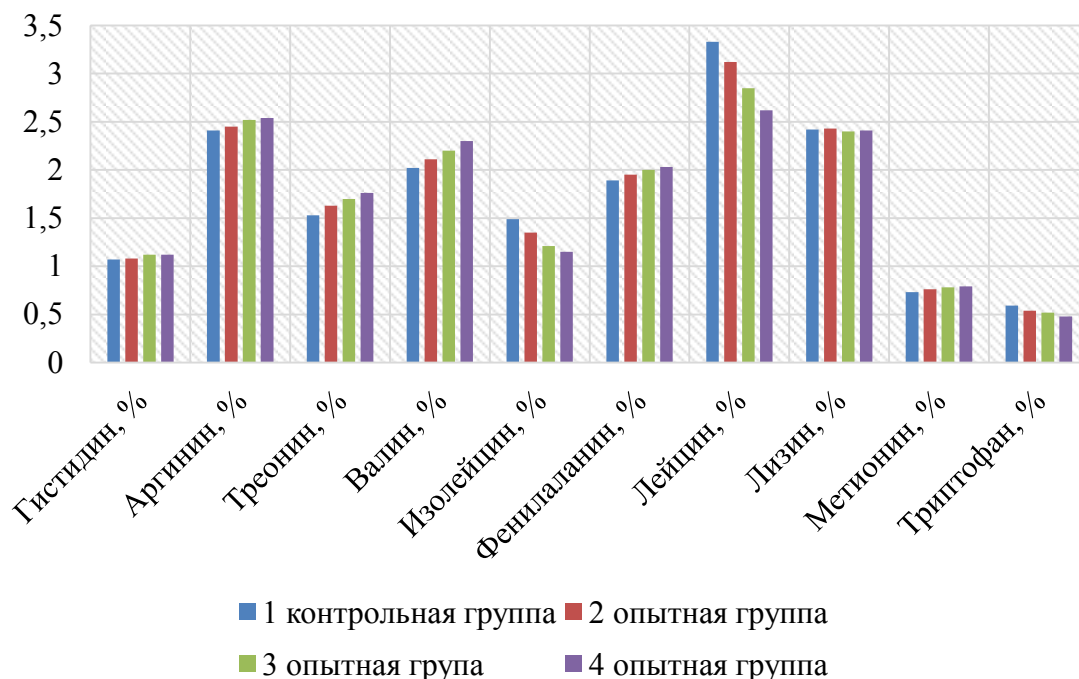


Рисунок 1 – Аминокислотный состав кормов для подопытной тилапии (незаменимые аминокислоты)
Figure 1 – Amino acid composition of feed for experimental tilapia (essential amino acids)

В образцах кормов 2, 3 и 4 опытных групп было выявлено большее содержание заменимых аминокислот серина, чем в кормах для молоди контрольной группы на 0,05 %, 0,08 %, 0,08), аланина – на 0,1 %, 0,19 %, 0,3 % и тирозина – на 0,05 %, 0,09 %, 0,13 %. Глицина в рационах 1 контрольной группы было больше, чем у цихлидовых 2, 3, 4 опытных групп (на 0,03 %, 0,09 %, 0,15 %) (рисунок 2).

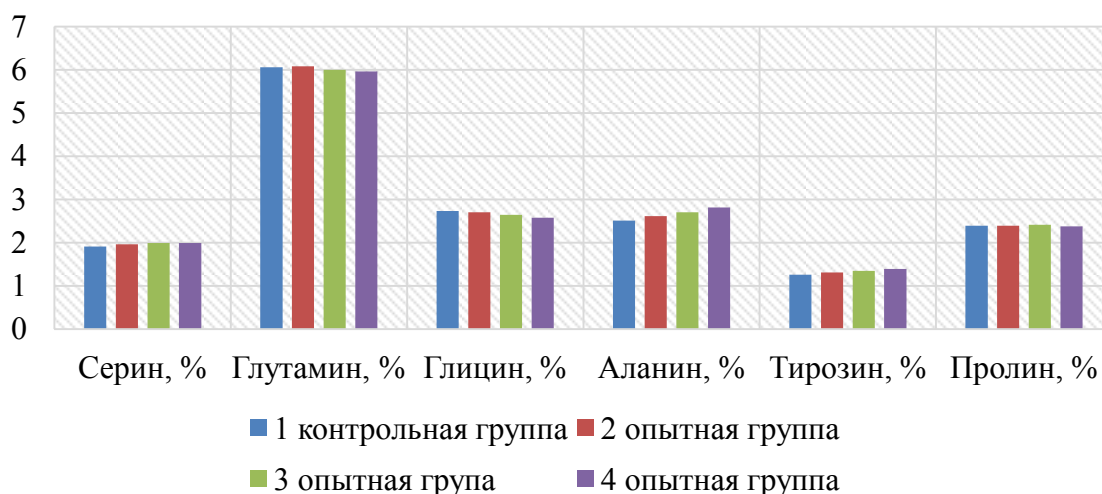


Рисунок 2 – Аминокислотный состав кормов для подопытной тилапии (заменимые аминокислоты)
Figure 2 – Amino acid composition of feed for experimental tilapia (interchangeable amino acids)

Аквакорма для 2 опытной группы в своем составе имели больший уровень содержания таких аминокислот, как глутамин, чем 1, 3 и 4 группам (на 0,02 %, 0,08 %, 0,12 %). Пропина было больше в аквакормах для 3 опытной группы по отношению к 1, 2 и 4 группам (на 0,02 %, 0,02 %, 0,03 %), соответственно (рисунок 2).

Анализ химического состава кормов для подопытной тилапии показал, что наибольший показатель содержания сырого протеина соответствует кормам, которые употребляли рыбы опытных групп по отношению к 1 контрольной. Значения показателя содержания сырого протеина в 4, 3 и 2 опытных группах превалировало над аналогичным показателем в контроле на 2,55 %, 1,70 % и 0,85 % соответственно (рисунок 3).

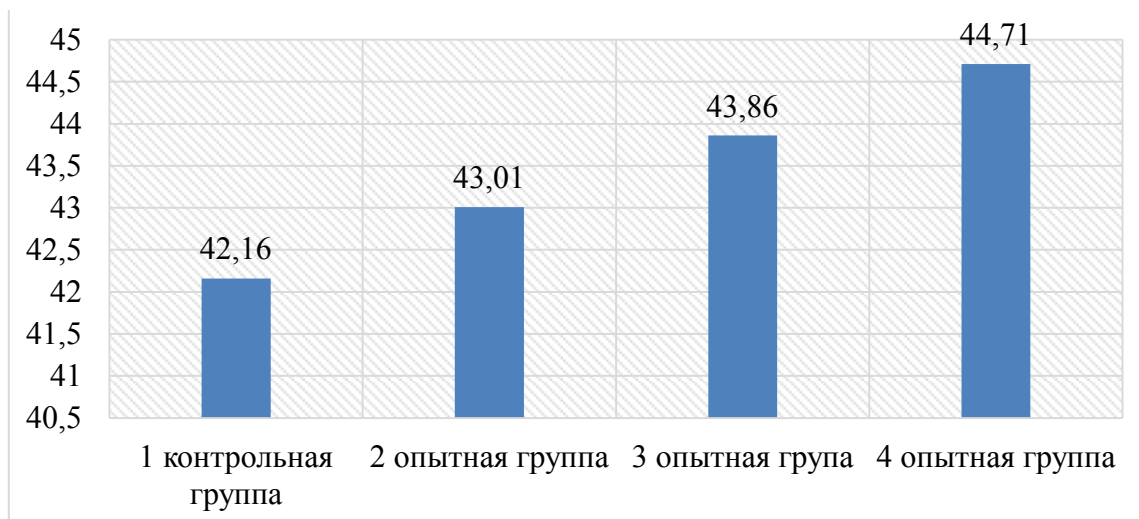


Рисунок 3 – Общее содержание сырого протеина в кормах для молоди тилапии, %
Figure 3 – The total content of crude protein in feed for tilapia juveniles, %

Безусловно, оценка питательности кормов по уровню содержания протеина, является одной из важных, так как заменить белки невозможно никакими другими питательными веществами. Но также не стоит занижать влияние и других нутриентов, которые важны для полноценной жизнедеятельности живого организма: жиры и углеводы – доступные источники энергии, а также витамины и минеральные элементы, которые получает рыба в процессе питания.

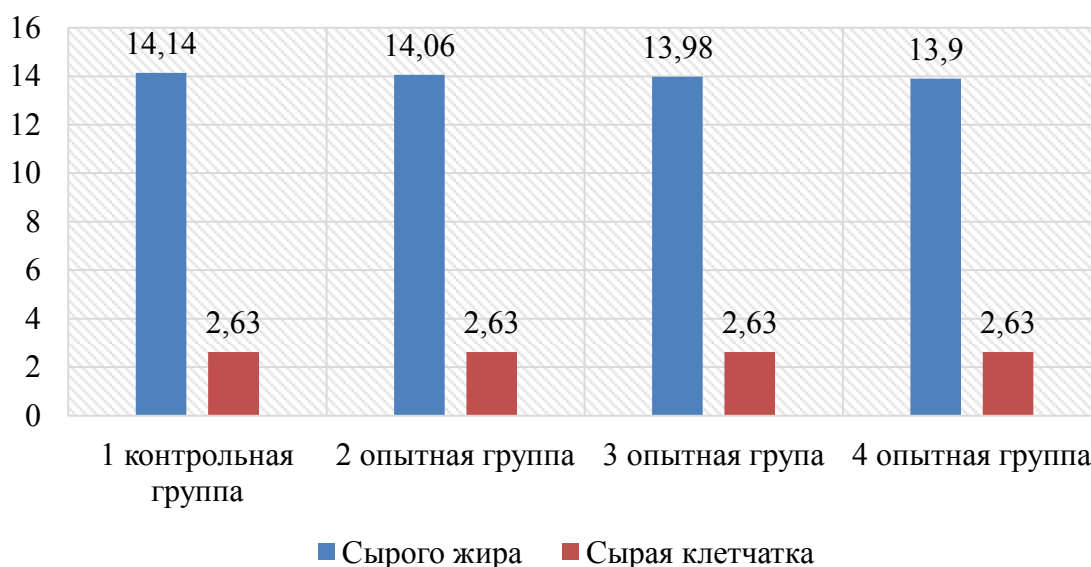


Рисунок 4 – Показатели питательности кормов для тилапии, %
Figure 4 – Nutritional indicators of tilapia feed, %

Жиры – один из основных источников энергии, а также жирных кислот. Липиды оказывают важное воздействие на обменные процессы, протекающие в организме рыб, влияют на усвоение жирорастворимых витаминов. Основные источники жиров в кормах для подопытной тилапии имеют как растительное происхождение – масло подсолнечное, так и животное происхождение – рыбий жир, жиры мясной и рыбной муки. В кормах для рыб необходимо соблюдать баланс в содержании липидов, так как при большом и недостаточном вводе их в корма для рыб может наблюдаться негативные последствия в усвоении основных питательных веществ, здоровом росте, развитии рыбы, интенсивности набора ихтиомассы и т.д. Учитывая данные, отмеченные на рисунке 4, следует, что в подопытных группах не наблюдается существенного различия между показателями содержания сырого жира в кормах (рисунок 4).

Клетчатка – один из антипитательных факторов кормления рыб, так как они не имеют достаточного количества ферментов для ее усвоения. Уровень содержания клетчатки в кормах всех подопытных групп был одинаковым 2,63 % (рисунок 4).

В рамках проведенного исследования было важно определить влияние препарата гаприна, введенного в корма опытных групп с частичной заменой рыбной муки на 25-50-75 %, как белкового компонента, на показатели крови. Ведь гематологические показатели – самый доступный способ проверки физиологического состояния рыб. Таким образом, были получены образцы крови у нильской тилапии и изучены основные ее параметры: эритроциты, гемоглобин, гематокрит, лейкоциты и их разновидности, общий белок, АЛТ, АСТ, альбумин, глюкоза, мочевины, СОЭ, билирубин и др.

Эритроциты у рыб имеют эллипсоидную форму и ядро, величина этих форменных клеток крови у разных видов рыб различна. По отношению к плазме крови на долю эритроцитов приходится от 41-43 %.

Наибольший уровень содержания эритроцитов зафиксирован у рыб 2, 3 и 4 опытных групп и превосходил по данному показателю 1 контрольную группу на (0,14, 0,19 и 0,24 $10^{12}/л$), соответственно (рисунок 5).

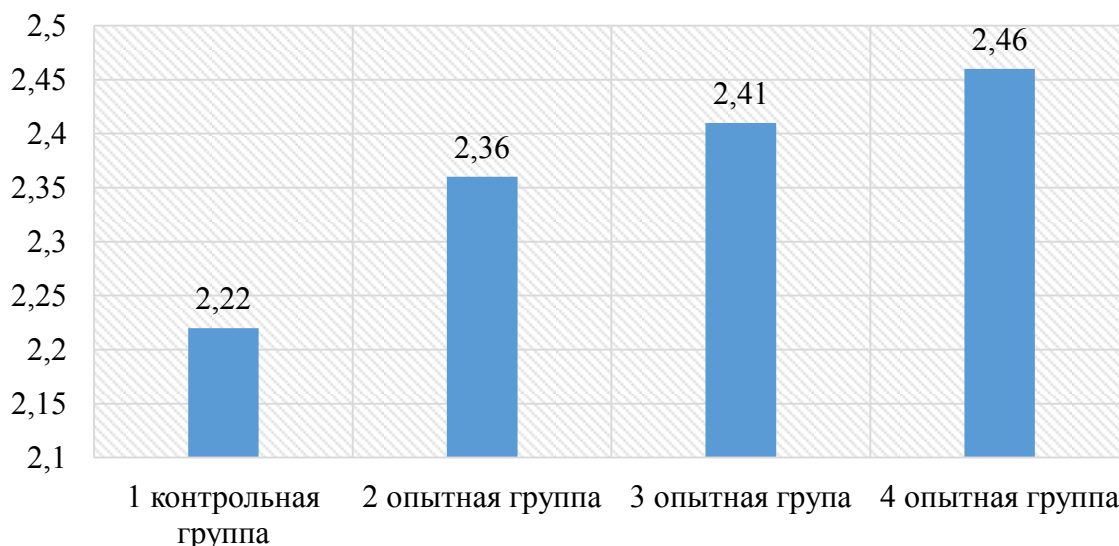


Рисунок 5 – Содержание эритроцитов в крови молоди тилапии, $10^{12}/л$
Figure 5 – The content of erythrocytes in the blood of juvenile tilapia, $10^{12}/l$

Гемоглобин у рыб – сложный железосодержащий белок, 1 г гемоглобина связывает 1,9 мг кислорода. Гемоглобин выполняет функцию переноса кислорода в организме рыб. На рисунке 6 отмечены данные содержания гемоглобина в крови подопытных рыб. Наибольший уровень гемоглобина зафиксирован у гидробионтов, получавших корма с гаприном: 2, 3 и 4 опытных групп, по сравнению с контролем (на 3,5, 5,2 и 7,00 г/л).

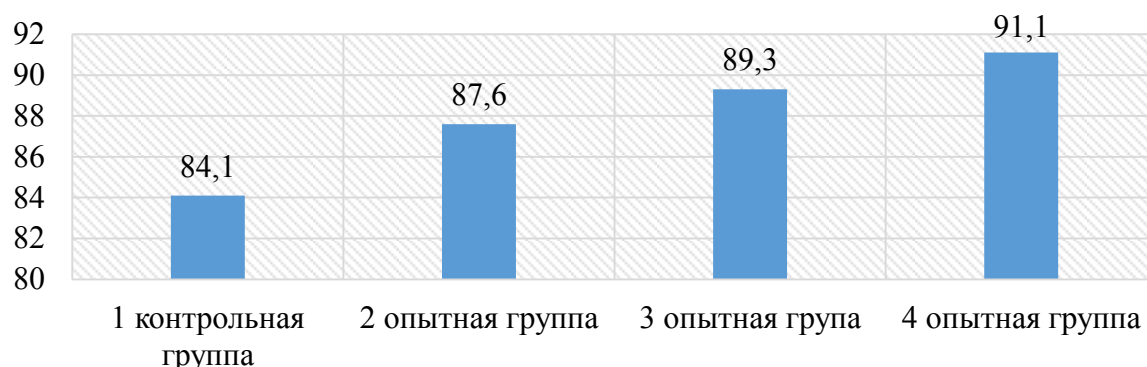


Рисунок 6 – Содержание гемоглобина в крови молоди тилапии, г/л

Figure 6 – Hemoglobin content in the blood of juvenile tilapia, g/l

Лейкоциты – белые клетки крови, меньшие по размеру, чем эритроциты, и выполняющие защитную функцию организма. Принимая во внимание рисунок 7, можно сделать вывод о том, что в крови всех подопытных групп тилапии, содержание лейкоцитов не имело существенных различий (рисунок 7).

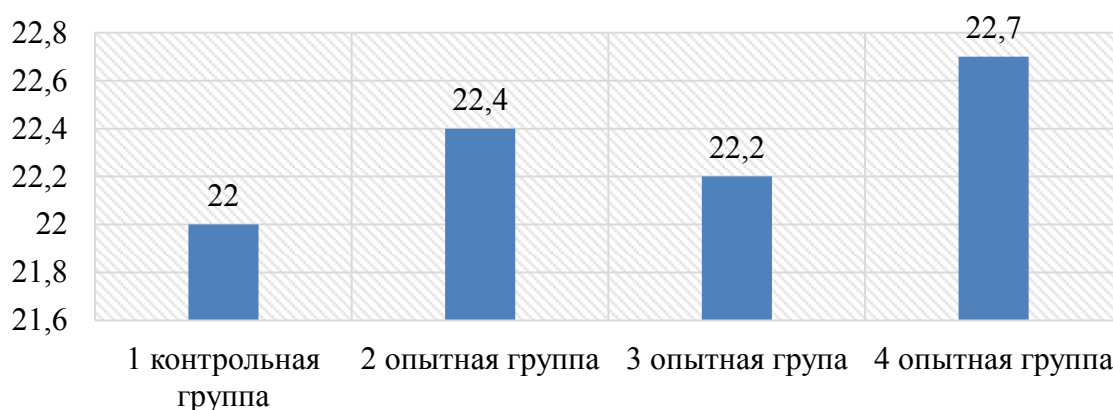


Рисунок 7 – Содержание лейкоцитов в крови молоди тилапии, 10⁹/л

Figure 7 – The leukocyte content in the blood of juvenile tilapia, 10⁹/l

Моноциты – крупные клетки бобовидной или овальной формы, являются активными фагоцитами крови рыб. Рыбы 3 опытной группы превосходили по показателю содержания моноцитов в крови гидробионтов 1 контрольной, 2 и 4 опытных групп (на 1,2 %, 0,7 % и 1,1 %) (рисунок 8).

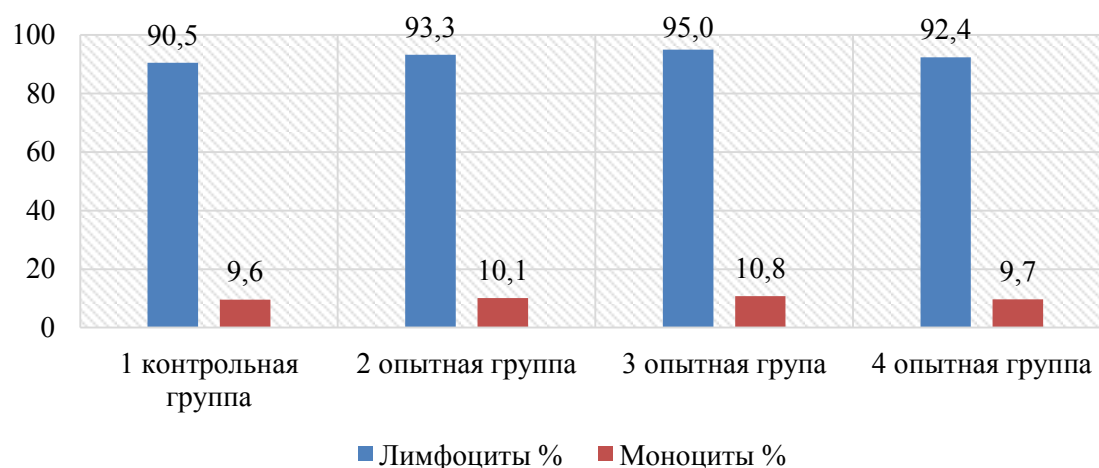


Рисунок 8 – Содержание моноцитов и лимфоцитов в крови молоди тилапии, %

Figure 8 – The content of monocytes and lymphocytes in the blood of juvenile tilapia, %

Лимфоциты – клетки округлой, почковидной или дольчатой формы, имеющие красно-фиолетовое ядро. У гидробионтов 1 контрольной группы (рисунок 8), содержание лимфоцитов в крови было ниже, чем у рыб 2 опытной группы на 2,8 %, 3 опытной группы – на 4,5 %, 4 опытной группы – на 1,9 %, соответственно.

Важно заметить, что результаты изученных образцов крови от гидробионтов всех 4 групп, участвующих в научном эксперименте, находились в рамках физиологической нормы для данного вида рыб.

Исследование уровня аланинаминотрансферазы не выявило существенных различий по группам. Повышение уровня АЛТ может говорить о более высоком уровне обмена белковых веществ. У гидробионтов 2 опытной группы показатель АЛТ в крови был ниже, чем в 1, 3 и 4 группах (на 3,4 %, 1,7 % и 7,0 %).

Показатель аспартатаминотрансферазы свидетельствует о функциональном состоянии сердца и печени. Так, в 2, 3 и 4 опытных вариантах, в которых рыбы потребляли с комбикормом препарат микробного белка – гаприн взамен рыбной муки, был выше, чем в контроле, на 1,7 %, 2,8 % и 3,1 %, соответственно.

Общий белок в крови указывает на функциональное состояние печени, почек. Его уровень зависит от условий выращивания, уровня питания и качества потребляемых кормов. Представители 2, 3 и 4 опытных групп, которым скармливались аквакорма с гаприном, превалировали по содержанию общего белка в крови молоди над 1 контрольной группой (на 4,3 %, 7,2 % и 10,3 %).

Альбумин крови является показателем питательности кормов и обеспеченности всеми необходимыми нутриентами у рыб. Уровень альбумина в крови рыб 2, 3 и 4 опытных групп был выше, чем в крови 1 контрольной группы (на 13,0 %, 18,5 % и 9,3 %).

По показателям крови, таким как билирубин общий и прямой, как правило, диагностируют физиологическое состояние печени. Уровень содержания желчного пигмента в крови рыб контрольной и опытных групп не имел существенных различий.

Показатель СОЭ у рыб – индикатор здоровья, который увеличивается в крови за счет различных воспалительных реакций, в свою очередь при этом снижается уровень эритроцитов. В образцах крови всех подопытных гидробионтов уровень СОЭ находился в пределах нормы на уровне 4,7-4,9 мм/ч.

Важно заметить, что результаты изученных образцов крови, полученной от гидробионтов всех 4 групп, участвующих в научном эксперименте, находились в рамках физиологической нормы для данного вида рыб.

Заключение. Полученные результаты по итогам проведенного исследования указывают на положительное воздействие гаприна – высокобелкового компонента корма микробиальной природы. Данный препарат не нанес вред здоровью тилапии, потреблявшей гаприн взамен рыбной муки в составе аквакормов на 25-50-75 %. Гематологические показатели крови, как эффективный инструмент оценки здоровья гидробионтов, отмечают это результатами. Показатели крови, полученные от подопытных гидробионтов, находились в пределах физиологической нормы.

Conclusions. The results obtained based on the results of the study indicate the positive effect of gaprin, a high-protein component of microbial feed. This drug did not harm the health of tilapia juveniles who consumed gaprin instead of fishmeal as part of aquaculture feeds by 25-50-75 %. Hematological blood parameters as an effective tool for assessing the health of aquatic organisms, this is noted by the results. The blood parameters obtained from the experimental hydrobionts were within the physiological norm.

Библиографический список

1. Абросимова Н. А., Абросимов С. С., Саенко Е. М. Кормовое сырье и добавки для объектов аквакультуры. Ростов-на-Дону: Медиа-Полис, ФГУП «АзНИИРХ», 2022. 147 с.
2. Агапова В. Н. и др. Гематологические показатели и рост молоди радужной форели при скармливании кормовой добавки «Бета-Флора». Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты: материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2023. Т. 2. С. 8-11.
3. Василенко В. Н., Фролова Л. Н., Драган И. В. и др. Разработка продукционных экструдированных комбикормов для индустриального производства тилапии. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 1. С. 79.
4. Ранделин Д. А. и др. Влияние альтернативного белкового сырья «Гаприн» – продукта микробного синтеза на продуктивные качества радужной форели. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1 (73). С. 163-172.
5. Воронцова Е. С. Влияние белкового сырья микробного синтеза (гаприн) на химический состав мышечной ткани стерляди. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 110. С. 204-210.
6. Виноградская М. И., Касумян А. О. Вкусовая привлекательность водных организмов для нильской тилапии *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). Вопросы ихтиологии. 2019. Т. 59. № 3. С. 318-328.

7. Гридина Т. С., Гераскин П. П. Экологический подход в повышении эффективности индустриального метода получения аквакультуры продукции. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2021. № 2. С. 97-103.
8. Панов В. П., Золотова А. В., Есавкин Ю. И. и др. Мясная продуктивность рыб: современное состояние, проблемы и перспективы. Зоотехния. 2020. № 9. С. 26-32.
9. Сидорова В. И., Асылбекова С. Ж., Январева Н. И. и др. Экструдированные стартовые комбикорма для тилапии. Новости науки Казахстана. 2020. № 4. С. 154-169.
10. Столяров В. П. Выращивание товарной тилапии в установке замкнутого водоснабжения. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 2. № 2. С. 34.
11. Шайхиев И. Г., Пономарев С. В., Баканева Ю. М. и др. Опыт выращивания тилапий в аквакультуре с использованием личинок мухи *Hermetia illucens* за рубежом: Обзор литературы). Sciences of Europe. 2021. Т. 2. № 67. С. 133.
12. Агапова В. Н., Ранделин Д. А., Кравченко Ю. В., Новокшенова А. И. Эффективность применения белкового сырья микробного синтеза на показатели роста и развития стерляди. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 402-407.
13. Ribeiro V. S., Pedroza Filho M. X. Regional analysis of aquaculture value chain: Study of tilapia production zones in Brazil. Aquaculture. 2022. 737948.
14. Teodósio R. Optimizing diets to decrease environmental impact of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production. Aquaculture Nutrition. 2020. V. 26. № 2. Pp. 422-431.
15. Zhao J. Assessing appetite of the swimming fish based on spontaneous collective behaviors in a recirculating aquaculture system. Aquacultural Engineering. 2017. V. 78. Pp. 196-204.

References

1. Abrosimova N. A., Abrosimov S. S., Saenko E. M. Feed raw materials and additives for aquaculture objects. Rostov-on-Don: Media-Polis, "AzNIIRKH", 2022. 147 p.
2. Agapova V. N. et al. Hematological indicators and growth of rainbow trout juveniles when feeding the feed additive "Beta-Flora". Actual problems of agrarian science: applied and research aspects: materials of the III All-Russian (national) scientific and practical conference. Nalchik, 2023. V. 2. Pp. 8-11.
3. Vasilenko V. N., Frolova L. N., Dragan I. V., et al. Development of Extruded Compound Feeds for Industrial Production of Tilapia. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. V. 81. № 1. P. 79.
4. Randelin D. A., et al. Effect of alternative protein raw material "Gaprin" - a product of microbial synthesis – on the productive qualities of rainbow trout. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. № 1 (73). Pp. 163-172.
5. Vorontsova E. S. Effect of Protein Raw Materials of Microbial Synthesis (Gaprin) on the Chemical Composition of Sterlet Muscle Tissue. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2024. № 110. Pp. 204-210.
6. Vinogradskaya M. I., Kasumyan A. O. Taste Attraction of Aquatic Organisms for the Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). Issues of ichthyology. 2019. V. 59. № 3. Pp. 318-328.
7. Gridina T. S., Geraskin P. P. Ecological Approach to Improving the Efficiency of the Industrial Method of Aquaculture Production. Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series "Fisheries". 2021. № 2. Pp. 97-103.
8. Panov V. P., Zolotova A. V., Esavkin Y. I., et al. Meat Productivity of Fish: Current State, Problems and Prospects. Animal Science. 2020. № 9. Pp. 26-32.
9. Sidorova V. I., Asylbekova S. Zh., Yanvareva N. I., et al. Extruded starter feeds for tilapia. Science news of Kazakhstan. 2020. № 4. Pp. 154-169.
10. Stolyarov V. P. Cultivation of Commercial Tilapia in a Closed Water Supply Installation. Agricultural biology. 2018. V. 2. № 2. P. 34.
11. Shaikhiev I. G., Ponomarev S. V., Bakanova Y. M., et al. Experience of growing tilapia in aquaculture using *Hermetia illucens* fly larvae abroad: Literature review). Sciences of Europe. 2021. V. 2. № 67. P. 133.
12. Agapova V. N., Randelin D. A., Kravchenko Y. V., Novokshchenova A. I. The effectiveness of the use of protein raw materials of microbial synthesis on the growth and development of sterlet. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 2 (70). Pp. 402-407.
13. Ribeiro V. S., Pedroza Filho M.X. Regional analysis of aquaculture value chain: Study of tilapia production zones in Brazil. Aquaculture. 2022. 737948.
14. Teodósio R. Optimizing diets to decrease environmental impact of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production. Aquaculture Nutrition. 2020. V. 26. № 2. Pp. 422-431.
15. Zhao J. Assessing appetite of the swimming fish based on spontaneous collective behaviors in a recirculating aquaculture system. Aquacultural Engineering. 2017. V. 78. Pp. 196-204.

Информация об авторах

Агапова Василина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: 55avn5@mail.ru
Ранделин Дмитрий Александрович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru
Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru
Агапов Сергей Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru

Authors' Information

Agapova Vasilina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: 55avn5@mail.ru
Randelin Dmitry Aleksandrovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru
Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru
Agapov Sergey Yuryevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru

**THE EFFECT OF ULTRAFINE IRON PARTICLES ON THE CARBON MATRIX ON
THE ELEMENTAL COMPOSITION OF CARP MUSCLE TISSUE**¹Arinzhanov A. E., ^{1,2}Malenkina K. A., ¹Miroshnikova E. P., ¹Kilyakova Yu. V.¹Orenburg State University
Orenburg, Russian Federation²Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: malyonkina.m@yandex.ru

Received 20.03.2025

Submitted 18.04.2025

*The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 23-76-10054.***Summary**

This article presents the results of studies of the effect of ultrafine particles on a carbon matrix on the elemental composition of carp muscle tissue. This study is aimed at exploring new sources of trace elements and their effects on fish.

Abstract

Introduction. The relevance of research is determined by the need to find and test new sources of essential elements within the framework of the development of aquaculture. The article presents the results of research on the study of ultrafine iron particles on a carbon matrix (UDP Fe-C) as an additive in feeding carp (*Cyprinus carpio*). **The aim of the work** was to study the effect of UDP Fe-C on the growth and elemental composition of carp muscle tissue. **Materials and methods.** UDP Fe-C was added to the diet of carp (n=10) at dosages of 0.8 mg/kg (experimental group I) and 2.0 mg/kg of feed (experimental group II). **As a result of the research**, an increase in the content of essential elements in the muscle tissue of carp of the first experimental group was found: sodium – by 24.54 % (P<0.01), manganese – by 63.63 % (P<0.001), cobalt – by 23.3 % (P<0.001), iron – by 192.46 % (P<0.001), nickel – by 69.23 % (P<0.001), bromine – by 24.97 % (P<0.05), molybdenum – by 31.42 % (P<0.05), iodine – by 156.92 % (P<0.001), chromium – by 260.1 % (P<0.001), lithium – by 162.5 % (P<0.001). In the II experimental group, an increase in sodium was recorded by 23.32 % (P<0.01), iron – by 42.28 % (P<0.01), iodine – by 73.85 % (P<0.001), chromium – by 48.12 % (P<0.001). The silver content in the experimental groups was significantly lower than the control – by 47.46 % (P<0.01) in the First experimental group and by 23.73 % (P<0.001) in the SECOND experimental group. The increase in live weight of fish in the first experimental group was 13.3 % (P<0.05) higher than the control, and no significant fluctuations were detected in the second group. As a result, it was found that the inclusion of Fe-C fishing rods in the diet of fish in all the studied groups contributes to an increase in the concentration of essential elements in the muscle tissue of juvenile carp.

Keywords: ultrafine particles, carp muscle tissues, carp breeding, carp feeding.**Citation.** Arinzhanov A. E., Malenkina K. A., Miroshnikova E. V., Kilyakova Yu. V. The effect of ultrafine iron particles on the carbon matrix on the elemental composition of carp muscle tissue. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 310-316 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-34.**Author's contribution.** All authors of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version submitted.**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

УДК 639.3.043:577.17

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА НА УГЛЕРОДНУЮ МАТРИЦУ
НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ КАРПА**¹Аринжанов А. Е., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент^{1,2}Маленкина К. А., аспирант¹Мирошникова Е. П., доктор биологических наук, профессор¹Киякова Ю. В., кандидат биологических наук, доцент¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
г. Оренбург, Российская Федерация²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
г. Оренбург, Российская Федерация*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-76-10054.*

Актуальность исследований определяется необходимостью поиска и апробации новых источников эссенциальных элементов в рамках развития аквакультуры. В статье представлены результаты исследований по изучению ультрадисперсных частиц железа на углеродной матрице

(УДЧ Fe-C) в качестве добавки в кормлении карпа (*Cyprinus carpio*). Цель работы заключалась в изучении влияния УДЧ Fe-C на рост и элементный состав мышечной ткани карпа. **Материалы и методы.** УДЧ Fe-C добавляли в рацион карпа ($n=10$) при дозировках 0,8 мг/кг (I опытная группа) и 2,0 мг/кг корма (II опытная группа). В результате исследований установлено повышение содержания эссенциальных элементов в мышечной ткани карпа I опытной группы: натрия – на 24,54 % ($P \leq 0,01$), марганца – на 63,63 % ($P \leq 0,001$), кобальта – на 23,3 % ($P \leq 0,001$), железа – на 192,46 % ($P \leq 0,001$), никеля – на 69,23 % ($P \leq 0,001$), брома – на 24,97 % ($P \leq 0,05$), молибдена – на 31,42 % ($P \leq 0,05$), йода – на 156,92 % ($P \leq 0,001$), хрома – на 260,1 % ($P \leq 0,001$), лития – на 162,5 % ($P \leq 0,001$). Во II опытной группе зафиксировано повышение натрия на 23,32 % ($P \leq 0,01$), железа – на 42,28 % ($P \leq 0,01$), йода – на 73,85 % ($P \leq 0,001$), хрома – на 48,12 % ($P \leq 0,001$). Содержание серебра в опытных группах было достоверно ниже контроля – на 47,46 % ($P \leq 0,01$) в I опытной группе и на 23,73 % ($P \leq 0,001$) во II опытной группе. Прирост живой массы рыб в I опытной группе был на 13,3 % ($P \leq 0,05$) выше контроля, во II группе достоверных колебаний не выявлено. В результате установлено, что включение в рацион рыб УДЧ Fe-C во всех исследуемых группах способствует увеличению концентрации эссенциальных элементов в мышечной ткани молоди карпа.

Ключевые слова: ультрадисперсные частицы, мышечные ткани карпа, разведение карпа, кормление карпа.

Цитирование. Аринжанов А. Е., Маленкина К. А., Мирошникова Е. В., Килякова Ю. В. Влияние ультрадисперсных частиц железа на углеродной матрице на элементный состав мышечной ткани карпа. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 310-316. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-34.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Важным для развития аквакультуры является изучение и апробация новых источников эссенциальных микроэлементов в кормлении гидробионтов. В настоящее время значительный научный интерес представляют микроэлементы в ультрадисперсной форме и обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами. Благодаря своим размерным характеристикам (до 100 нм), ультрадисперсные частицы (УДЧ) способны беспрепятственно проникать через защитные барьеры клетки живого организма, что позволяет эффективно бороться с патогенными бактериями [1].

Ультрадисперсная форма обеспечивает высокую биологическую активность микроэлементов в организме, в том числе при формировании комплексных соединений за счет усиленной реакционной способности ультрадисперсных частиц. Высокий продуктивный потенциал и адсорбционные свойства УДЧ способствуют снижению экологической нагрузки и перспективны в кормопроизводстве [2]. В частности, установлена эффективность использования УДЧ SiO_2 при дозировках 100-200 мг/кг корма в кормлении карпа, сопровождающееся повышением продуктивности и улучшением работы печени [3]. При включении в рацион рыб УДЧ Ag в дозировке 1 мг/кг рациона, полученных путем «зеленого синтеза», выявлена стабилизация параметров неспецифического иммунитета у нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*), заключающиеся в улучшении эритрограммы крови [4]. Включение магнитных частиц размером 10 нм в рацион рыбы способствовало усилению иммунного барьера и антиоксидантной функции кожи и жабр, в частности против бактериального заражения аэромонадами (*Aeromonas hydrophila*) и ихтиофтириусом (*Ichthyophthirius multifiliis*) [5].

В настоящее время открывают новые горизонты для развития животноводства и аквакультуры использование УДЧ в составе композиционных материалов, которые позволяют значительно повысить биодоступность микроэлементов и увеличить скорость обменных процессов. Металл-углеродные композиты (Me-C) обладают высокой биологической активностью, проявляя выраженные каталитические свойства, что является важным и решающим фактором их применения в кормлении [6].

Изучение микроэлементного состава тканей живого организма позволяет получить необходимые сведения о физиологическом состоянии. Установлено, что включение в рацион УДЧ металлов-микроэлементов положительно влияет на минеральный обмен, обеспечивая накопление эссенциальных элементов в организме, одновременно снижая содержание тяжелых металлов [7]. При этом практически отсутствуют данные об использовании УДЧ Me-C в кормлении рыб и о их влиянии на метаболизм микроэлементов в организме.

Цель исследования – оценить влияния ультрадисперсных частиц железа на углеродной матрице (УДЧ Fe-C) на рост и элементный состав мышечной ткани карпа.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры; в соответствии с требованиями Этического комитета Оренбургского государственного университета были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

В рамках исследований были сформированы три группы рыб ($n=15$), годовики карпа (*Cyprinus carpio*), которые отличались характером кормления: контрольная группа получала основной рацион (ОР), I опытная – ОР + УДЧ Fe-C в дозировке 0,8 мг/кг корма, II опытная – ОР + УДЧ Fe-C в дозировке 2 мг/кг корма. Продолжительность эксперимента составила 56 суток.

В качестве ОР был использован комбикорм КРК-110 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», г. Оренбург). УДЧ Fe-C ($d = 40-60$ нм, ζ – потенциал 21,8 мВ) получены плазменно-дуговой технологией синтеза и представляют собой углеродную матрицу с частицами железа в ультрадисперсной форме. Введение в корм УДЧ осуществлялось после его диспергирования при частоте 35 кГц в течение 30 минут.

Анализ элементного состава мышечной ткани рыб был проведен в лаборатории Испытательного центра «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН» г. Оренбург (аттестат аккредитации RA.RU.21ПФ59 от 12.10.2015) с использованием атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Определение достоверности различий определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$.

Результаты исследований и обсуждение. Установлено, что введение в рацион рыб УДЧ Fe-C корма оказало ростостимулирующее действие при минимальной дозировке (0,8 мг/кг) – на 13,3 % ($P \leq 0,05$) выше контроля к концу эксперимента (таблица 1). Во II группе, при дозировке 2 мг/кг корма, не установлено достоверных отличий относительно контроля. Стоит отметить, что сохранность карпа во всех группах была равна 100 %.

Таблица 1 – Показатели роста рыбы
Table 1 – Fish growth indicators

Показатели / Indicators	Группа / Group		
	Контрольная/ Control	I	II
Масса рыбы в начале опыта, г / Weight of fish at the beginning of the experiment, g	25,2 $\pm$ 2,15	25,27 $\pm$ 2,46	25,4 $\pm$ 2,35
Длина рыбы в начале опыта, см / Length of fish at the beginning of the experiment, cm	12,32 $\pm$ 0,5	12,33 $\pm$ 0,53	12,37 $\pm$ 0,52
Масса рыбы в конце опыта, г / Weight of fish at the end of the experiment, g	78,87 $\pm$ 7,47	89,2 $\pm$ 7,33*	82,13 $\pm$ 7,21
Длина рыбы в конце опыта, см / Length of fish at the end of the experiment, cm	17,21 $\pm$ 0,48	17,8 $\pm$ 0,46*	17,17 $\pm$ 0,59
Абсолютный прирост, г / Absolute increase, g	53,67 $\pm$ 6,65	63,93 $\pm$ 6,55*	56,73 $\pm$ 5,91
Абсолютная скорость роста, г/сутки / Absolute growth rate, g/day	0,96 $\pm$ 0,11	1,14 $\pm$ 0,12*	1,01 $\pm$ 0,11

Примечание: *различия с контрольной группой достоверны при $p \leq 0,05$.

Note: *differences with the control group are significant at $p \leq 0.05$.

Установленный нами положительный эффект от скармливания УДЧ Fe-C молоди карпа согласуется с ранее проведенными исследованиями, в рамках которых установлен дозозависимый эффект влияния УДЧ на продуктивность рыб и животных [8]. Железо имеет важное значение для обеспечения благоприятного роста и развития организма. Процесс синтеза ДНК, белкового и липидного обмена невозможен без присутствия данного элемента [9]. Железо является составной частью каталазы, обеспечивая тканевое дыхание и стимулируя процесс кроветворения, особенно в эмбриогенезе рыб. Его недостаток снижает резистентность организма к патогенам внешней среды в результате сокращения активности миелопероксидазы. Fe участвует в антиоксидантной защите клеток, связывая свободные радикалы и предотвращая их повреждающее действие на клетки [10]. Недостаток же-

леза в организме рыб может привести к развитию различных патологий, таких как анемия, снижение иммунитета и нарушение роста и развития. Однако избыточное его содержание также может быть опасным, так как оно может вызывать токсические эффекты и нарушения метаболизма [11].

Установлено, что введение железа в ультрадисперсной форме в рацион животных оказывает иммуномодулирующее действие на организм, обеспечивая высокий уровень резистентности к болезнетворным патогенам за счет стабилизации микробиоценоза кишечника, что способствует повышению продуктивности организма [12]. Кроме того, скармливание УДЧ Fe оказывает влияние на минеральный обмен в организме животных путем влияния на экспрессию гепсидина печени, способствующего усвоению и гомеостазу эссенциальных элементов [13].

Нами установлено положительное влияние УДЧ Fe-C на элементный состав мышечной ткани рыбы при включении их в рацион карпа. Так, в I опытной группе зафиксировано достоверное увеличение концентрации макро- и микроэлементов: натрия – на 24,54 % ($P \leq 0,01$), марганца – на 63,63 % ($P \leq 0,001$), кобальта – на 23,3 % ($P \leq 0,001$), железа – на 192,46 % ($P \leq 0,001$), никеля – на 69,23 % ($P \leq 0,001$), брома – на 24,97 % ($P \leq 0,05$), молибдена – на 31,42 % ($P \leq 0,05$), йода – на 156,92 % ($P \leq 0,001$), хрома – на 260,1 % ($P \leq 0,001$), лития – на 162,5 % ($P \leq 0,001$) относительно контрольных значений (таблица 2).

Во II опытной группе констатировали повышение концентрации натрия на 23,32 % ($P \leq 0,01$), железа – на 42,28 % ($P \leq 0,01$), йода – на 73,85 % ($P \leq 0,001$), хрома – на 48,12 % ($P \leq 0,001$), на фоне снижения концентрации серебра – на 23,73 % ($P \leq 0,001$), относительно контроля (таблица 2).

Таблица 2 – Концентрация химических элементов в мышечной ткани рыб, мг/кг
Table 2 – Concentration of chemical elements in fish muscle tissue, mg/kg

Элемент / Element	Группа / Group		
	Контрольная / Control	I	II
Макроэлементы / Macronutrients			
Na	2465±103	3070±149**	3040±172**
Mg	1253±71	1315±61	1300±77
P	10030±420	10418±518	10378±616
K	17424±806	17852±747	17652±877
Ca	1849±78	1946±79	1741±91
Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы / Essential and conditionally essential trace elements			
Mn	1,54±0,091	2,52±0,105***	1,55±0,088
Co	0,021±0,0014	0,049±0,004***	0,024±0,0023
Fe	46,43±2,82	135,79±6,79***	66,06±3,79**
Ni	0,39±0,023	0,66±0,036***	0,36±0,012
Cu	2,52±0,09	2,85±0,18	2,54±0,18
Zn	41,66±1,62	43,69±2,16	45,34±2,29
Se	1,16±0,083	1,25±0,054	1,18±0,064
Br	8,45±0,61	10,56±0,46*	9,51±0,82
Mo	0,035±0,006	0,046±0,0023*	0,035±0,003
Ag	0,59±0,038	0,28±0,0266**	0,14±0,015***
I	0,65±0,029	1,67±0,11***	1,13±0,076***
Cr	5,59±0,23	20,13±1,052***	8,28±0,37***
Li	0,008±0,001	0,021***±0,0012	0,0095±0,0049

Примечание: *различия с контрольной группой достоверны при $p \leq 0,05$.

Note: *differences with the control group are significant at $p \leq 0.05$.

В ходе исследования содержания потенциально токсичных и малоизученных элементов нами выявлено достоверное повышение концентрации алюминия – на 96,04 % ($P \leq 0,01$), олова – на 22,22 % ($P \leq 0,05$), бария – на 47,37 % ($P \leq 0,01$) в I опытной группе и повышение бария – на 42,1 % ($P \leq 0,01$) во II группе (таблица 3), относительно контрольных значений.

Таблица 3 – Концентрация потенциально токсических и малоизученных элементов
в мышечной ткани рыб, мг/кг
Table 3 – Concentration of potentially toxic and poorly studied elements in fish muscle tissue, mg/kg

Элемент / Element	Группа / Group		
	Контрольная / Control	I	II
Al	4,81±0,83	9,43±0,46**	4,76±0,3
Sr	4,0±0,213	4,22±0,19	3,85±0,21
Cd	0,0035±0,0007	0,004±0,001	0,003±0,0004
Sn	0,054±0,0033	0,066±0,0028*	0,047±0,0019
Hg	0,04±0,017	0,04±0,015	0,05±0,01
As	0,037±0,011	0,028±0,007	0,036±0,006
Sb	0,004±0,0002	0,0064±0,0005	0,0055±0,001
Ba	0,19±0,01	0,28±0,015**	0,27±0,012**

Примечание: *различия с контрольной группой достоверны при $p \leq 0,05$.

Note: *differences with the control group are significant at $p \leq 0.05$.

Введение УДЧ Fe-C в рацион рыб предполагало повышение эссенциальных элементов (Fe, Cu, Co, Mg), участвующих непосредственно в процессах кроветворения, работы опорно-двигательного аппарата, иммунных и антиоксидантных защитных реакций организма [14]. В наших исследованиях характерным для всех опытных групп было достоверное повышение уровня натрия, железа, йода и хрома. Существенное увеличение хрома в опытных группах согласуется с данными о способности железосодержащих УДЧ повышать транспортировку и распределение хрома по органам и тканям организма рыб [15].

Введение в рацион карпа УДЧ Fe-C в количестве 0,8 мг/кг корма способствовало более активной динамике минерального обмена, заключающейся в увеличении содержания жизненно необходимых элементов в организме.

Достоверно высокие значения кобальта и железа можно объяснить повышением эритропоза на фоне присутствия ультрадисперсного железа, в результате которого происходит усиленное питание тканей кислородом, сопровождающийся ускорением метаболических процессов [16]. Превышение содержания йода в организме в сравнении с контролем обуславливает антиоксидантную защиту организма, в том числе купирова возникновение окислительного стресса. Йод является частью тиреоидных гормонов, оказывающих непосредственное влияние на синтез гемоглобина и кобаламина, что позволяет сделать вывод о положительном влиянии на организм рыб УДЧ Fe-C [17].

Неразрывная связь железа и молибдена показывает взаимное поглощение и распределение друг друга в тканях на митохондриальном уровне, при этом питательный статус Fe доминирует над гомеостазом Mo и влияет на его доступность для ферментов. Кроме того, превышение концентрации молибдена, лития и натрия нивелирует нервное перевозбуждение организма, уменьшая количество свободного норадреналина, что положительно сказывается на функции буферных систем организма [18].

Выявленный нами высокий уровень эссенциальных микроэлементов в мышечной ткани карпа способствует снижению чувствительности нервной системы к стресс-факторам, положительно сказывается на секреции гормонов и ферментов, в частности гормонов щитовидной железы, обуславливая слаженную работу всех защитных систем организма [19].

Анализ содержания потенциально токсичных и малоизученных элементов показал достоверное повышение алюминия – на 96,04 % ($P \leq 0,01$), олова – на 22,22 % ($P \leq 0,05$), бария – на 47,37 % ($P \leq 0,01$) в I опытной группе и повышение бария – на 42,1 % ($P \leq 0,01$) во II группе. Биологическая роль данных элементов в организме рыб достоверно не изучена. Известно, что Al, Sn и Ba содержатся во всех нормально функционирующих живых системах, принимая участие в синтезе белковых элементов, влияя на работу околощитовидных желез и ферментов желудочно-кишечного тракта. Недостаток Al в организме провоцирует низкую продуктивную способность животных, в том числе задержку роста. Похожий эффект наблюдается при дефиците олова. Повышение содержания ряда потенциально токсичных элементов в мышечной ткани карпа может быть связано с абсорбирующими свойствами УДЧ и требуют дополнительного изучения [20].

Выводы. В результате исследований установлено, что включение в рацион рыб УДЧ Fe-C сопряжено с повышением прироста массы рыб на 13,3 % ($P \leq 0,05$) при дозировке 0,8 мг/кг корма. Введение в рацион карпа УДЧ Fe-C влияет на минеральный обмен в организме и сопровождается увеличением в мышечной ткани рыб концентраций ряда жизненно необходимых элементов: натрия, марганца, кобальта, железа, никеля, брома, молибдена, йода, хрома, лития.

Conclusions. As a result of the research, it was found that the inclusion of Fe-C fishing rods in the fish diet is associated with an increase in fish weight gain by 13.3 % ($P < 0.05$) at a dosage of 0.8 mg/kg of feed. The introduction of UDP Fe-C into the diet of carp affects mineral metabolism in the body and is accompanied by an increase in the concentrations of a number of vital elements in the muscle tissue of fish: sodium, manganese, cobalt, iron, nickel, bromine, molybdenum, iodine, chromium, lithium.

Библиографический список

1. Rahman H. S., Othman H. H., Abdullah R. Beneficial and toxicological aspects of zinc oxide nanoparticles in animals. *Vet Med Sci*. 2022. No 8 (4). Pp. 1769-1779.
2. Сизова Е. А., Нечитайло К. С. Сравнительная оценка влияния ультрадисперсных форм меди и цинка на переваримость сухого вещества корма in vitro. *Животноводство и кормопроизводство*. 2020. № 1. С. 121-133.
3. Аринжанова М. С., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Киякова Ю. В. Влияние ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост и аминокислотный состав печени рыб. *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. № 2. С. 8-16.
4. Aly S. M., Eissa A. E., Abdel-Razek N., El-Ramlawy A. O. Antibacterial activity and immunomodulatory effect of naturally synthesized chitosan and silver nanoparticles against *Pseudomonas fluorescens* infection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): an in vivo study. *Fish Shellfish Immunol*. 2023. No 135. Pp. 108-628.
5. Ibrahim D., I Abdel Rahman M. M., Abd El-Ghany A. M. Chlorella vulgaris extract conjugated with magnetic iron nanoparticles in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): stimulates growth, plays an immunostimulating and antioxidant role and fights synergistic infection caused by *Ichthyophthirius multifiliis* and *Aeromonashydrophila*. *Fish Shellfish Immunol*. 2024. No 145. Pp. 109-352.
6. Кодолов В. И., Шабанова И. Н., Кодолова-Чухонцева В. В., Теребова Н. С., Першин Ю. В., Мустакимов Р. В. Модифицированные магнитные металл/углеродные мезоскопические композиты с биоактивными веществами. *Химическая физика и мезоскопия*. 2019. № 3. С. 446-454.
7. Sharma R., Garg R., Bali M. Biogenic synthesis of iron oxide nanoparticles using *Spilanthes acmella* leaf extract: antioxidant potential and adsorption removal of heavy metal ions. *Environ Monit Assess*. 2023. No. 195 (11). P. 1345.
8. Аринжанова М. С., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Киякова Ю. В. Комплексное использование биологически активных добавок в составе корма для карпа (*Cyprinus carpio*). *ТПП АПК*. 2024. № 2. С. 130-136.
9. Mai X., Liu Y., Fan J. Iron supplementation and iron accumulation promote adipocyte thermogenesis through PGC1 α -ATGL-mediated lipolysis. *J Biol Chem*. 2024. No 300 (9). Pp.107690.
10. Venkataramani V. Iron Homeostasis and Metabolism: Two Sides of a Coin. *Adv Exp Med Biol*. 2021. No. 1301. Pp. 25-40.
11. Гарипова Н. В., Рязанов В. А. Ультрадисперсные частицы железа в животноводстве (обзор). *Микроэлементы в медицине*. 2022. № 23 (4). С. 3-13.
12. Jiao L., Dai T., Lu J. Excess iron supplementation induced hepatopancreas lipolysis, destroyed intestinal function in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Mar Pollut Bull*. 2022. No 176. P. 113421.
13. Kumar N., Thorat S.T., Gunaware M. A. Unraveling gene regulation mechanisms in fish: insights into multistress responses and mitigation through iron nanoparticles. *Front Immunol*. 2024. No. 15. P. 1410150.
14. Zhou Q., Xue S., Zhang L. Trace elements and the thyroid. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022. No 24 (13). Pp. 904-889.
15. Jiang D., Hu X., Jin X. Oxidized nanoscale zero-valent iron changed the bioaccumulation and distribution of chromium in zebrafish. 2021. No 263. P. 128001.
16. Sayadi M. H., Mansouri B., Shahri E. Exposure effects of iron oxide nanoparticles and iron salts in blackfish (*Capoeta fusca*): Acute toxicity, bioaccumulation, depuration, and tissue histopathology. *Chemosphere*. 2020. No 247. Pp. 125-900.
17. Маленкина К. А., Аринжанов А. Е. Результаты исследований и рекомендации по использованию добавок микроэлементов в кормлении рыб: органические соединения, хелаты, наночастицы и комплексные препараты (обзор). *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2024. № 1. С. 27-49.
18. Viganì G., Di Silvestre D., Agresta A. M. Molybdenum and iron mutually affect the homeostasis of cucumber plants (*Cucumis sativus*). *New Phytol*. 2017. No. 213 (3). Pp. 1222-1241.
19. Mezzaroba L., Alfieri D. F., Colado Simão A. N., Vissoci Reiche E. M. The role of zinc, copper, manganese and iron in neurodegenerative diseases. *Neurotoxicology*. 2019. No 74. Pp. 230-241.
20. Аринжанова М. С. Ультрадисперсные препараты металлов-микроэлементов: опыт использования и перспективы применения в аквакультуре (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. № 1. С. 8-30.

References

1. Rahman H. S., Othman H. H., Abdullah R. Beneficial and toxicological aspects of zinc oxide nanoparticles in animals. *Vet Med Sci*. 2022. No 8 (4). Pp. 1769-1779.
2. Sizova E. A., Nechitajlo K. S. Comparative evaluation of the effect of ultrafine forms of copper and zinc on the digestibility of dry matter of feed in vitro. *Animal husbandry and feed production*. 2020. No 1. Pp. 121-133.
3. Arinzhanova M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Y. V., The effect of ultrafine silica particles on the growth and amino acid composition of fish liver. *Animal husbandry and feed production*. 2022. No 2. Pp. 8-16.

4. Aly S. M., Eissa A. E., Abdel-Razek N., El-Ramlawy A. O. Antibacterial activity and immunomodulatory effect of naturally synthesized chitosan and silver nanoparticles against *Pseudomonas fluorescens* infection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): an in vivo study. *Fish Shellfish Immunol.* 2023. No 135. Pp. 108-628.
5. Ibrahim D., I Abdel Rahman M. M., Abd El-Ghany A. M. Chlorella vulgaris extract conjugated with magnetic iron nanoparticles in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): stimulates growth, plays an immunostimulating and antioxidant role and fights synergistic infection caused by *Ichthyophthirius multifiliis* and *Aeromonas hydrophila*. *Fish Shellfish Immunol.* 2024. No 145. Pp. 109-352.
6. Kodolov V. I., Shabanova I. N., Kodolova-Chuhonceva V. V., Terebova N. S., Pershin Yu. V., Mustakimov R. V. Modified magnetic metal/carbon mesoscopic composites with bioactive substances. *Chemical physics and mesoscopy.* 2019. No 3. Pp. 446-454.
7. Sharma R., Garg R., Bali M. Biogenic synthesis of iron oxide nanoparticles using *Spilanthes acmella* leaf extract: antioxidant potential and adsorption removal of heavy metal ions. *Environ Monit Assess.* 2023. No 195 (11). P. 1345.
8. Arinzhanova M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Y. V. Complex use of biologically active additives in the composition of carp feed (*Cyprinus carpio*). *Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex.* 2024. No 2. Pp. 130-136.
9. Mai X., Liu Y., Fan J. Iron supplementation and iron accumulation promote adipocyte thermogenesis through PGC1 α -ATGL-mediated lipolysis. *J Biol Chem.* 2024. No 300 (9). P. 107690.
10. Venkataramani V. Iron Homeostasis and Metabolism: Two Sides of a Coin. *Adv Exp Med Biol.* 2021. No 1301. Pp. 25-40.
11. Garipova N. V., Ryazanov V. A. Ultrafine iron particles in animal husbandry (review). *Trace elements in medicine.* 2022. V. 2. No 23 (4). Pp. 3-13.
12. Jiao L., Dai T., Lu J. Excess iron supplementation induced hepatopancreas lipolysis, destroyed intestinal function in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Mar Pollut Bull.* 2022. No 176. P. 113421.
13. Kumar N., Thorat S. T., Gunaware M. A. Unraveling gene regulation mechanisms in fish: insights into multitress responses and mitigation through iron nanoparticles. *Front Immunol.* 2024. No 15. P. 1410150.
14. Zhou Q., Xue S., Zhang L. Trace elements and the thyroid. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2022. No 24 (13). Pp. 904-889.
15. Jiang D., Hu X., Jin X. Oxidized nanoscale zero-valent iron changed the bioaccumulation and distribution of chromium in zebrafish. 2021. No 263. P. 128001.
16. Sayadi M. H., Mansouri B., Shahri E. Exposure effects of iron oxide nanoparticles and iron salts in blackfish (*Capoeta fusca*): Acute toxicity, bioaccumulation, depuration, and tissue histopathology. *Chemosphere.* 2020. No 247. Pp. 125-900.
17. Malenkina K. A., Arinzhanov A. E. Research results and recommendations on the use of trace element additives in fish feeding: organic compounds, chelates, nanoparticles and complex preparations (review). *Problems of biology of productive animals.* 2024. No 1. Pp. 27-49.
18. Vigani G., Di Silvestre D., Agresta A. M. Molybdenum and iron mutually affect the homeostasis of cucumber plants (*Cucumis sativus*). *New Phytol.* 2017. No 213 (3). Pp. 1222-1241.
19. Mezzaroba L., Alfieri D. F., Colado Simão A. N., Vissoci Reiche E. M. The role of zinc, copper, manganese and iron in neurodegenerative diseases. *Neurotoxicology.* 2019. No 74. Pp. 230-241.
20. Arinzhanova M. S. Ultrafine preparations of trace metals: experience of use and prospects of application in aquaculture (review). *Animal husbandry and feed production.* 2022. No 1. Pp. 8-30.

Информация об авторах

Аринжанов Азамат Ерсанович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>, e-mail: arin.azamat@mail.ru

Маленкина Ксения Александровна, аспирант, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7781-9028>, e-mail: malyonkina.m@yandex.ru

Мирошникова Елена Петровна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>, e-mail: elenaakva@rambler.ru

Киякова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>, e-mail: fish-ka06@mail.ru

Authors' Information

Arinzhanov Azamat Yersainovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Orenburg State University (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>, e-mail: arin.azamat@mail.ru

Malenkina Ksenia Aleksandrovna, postgraduate student, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya str., 29), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7781-9028>, e-mail: malyonkina.m@yandex.ru

Miroshnikova Elena Petrovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Orenburg State University (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>, e-mail: elenaakva@rambler.ru

Kilyakova Yulia Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department, Orenburg State University (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>, e-mail: fish-ka06@mail.ru

**PHYSIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL STATE OF STERLET WHEN USING
THE SORBED PROBIOTIC PREPARATION BASED ON LACTO- AND BIFIDOBACTERIUM****¹Zhandalgarova A. D., ¹Grozesku Yu. N., ²Randelin D. A., ²Kravchenko Yu. V.**¹*Astrakhan State Technical University
Astrakhan, Russian Federation*²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: zhandalgarova@mail.ru

Received 07.02.2025

Submitted 21.05.2025

The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-76-01019 "Development and research of scientifically based methods for increasing the immunologically determined natural resistance of the fish body and regulating their immune homeostasis when using immobilized forms of microbial biologies in intensive aquaculture", <https://rscf.ru/project/23-76-01019/>.

Summary

The article presents experimental data on the effect of a sorbed probiotic preparation based on lacto- and Bifidobacterium on the physiological and immunological state of sterlet. It has been established that the use of probiotics improves the hematological and biochemical parameters of blood, modulates the leukogram of peripheral blood and has a regulatory effect on the leukocyte shift index, reflecting the state of immune reactivity of sturgeon fish.

Abstract

Introduction. It is known that the indigenous microflora of the gastrointestinal tract plays a key role in maintaining the physiological homeostasis of the body, participating in various metabolic processes, as well as in the formation and regulation of the functions of the immune system, thereby providing anti-infective protection. Currently, a significant amount of data has been accumulated indicating the importance of the intestinal microbiota in regulation of immunity and maintenance of immune homeostasis. Nevertheless, the question of the potential of probiotic drugs in modulating the immune response remains the subject of active research. Probiotics, which differ in composition and origin, vary both in the severity of their probiotic properties and in the nature of their immunotropic effect. In addition to the symbiotic microflora, some probiotic agents may include additional components, such as entero sorbents, which can collectively affect the body's immune reactivity. The effectiveness of sorbed probiotics is largely determined by the form of release, which ensures high bioavailability and delivery of viable probiotic microorganisms to the necessary parts of the intestine. In this regard, the use of sorbed probiotic drugs in industrial aquaculture in order to increase the immune status of fish seems to be a promising direction. **Object.** The object of research was sterlet yearlings. **Materials and methods.** The research was conducted in the conditions of the Department of "Aquaculture and Aquatic Bioresources" of the Astrakhan State Technical University. To assess the physiological state of the studied fish, the following parameters were determined: the concentration of hemoglobin, total protein, glucose, cholesterol, triglycerides, the average hemoglobin content in the erythrocyte (AHE), the hematocrit level, the erythrocyte sedimentation rate (ESR) and the leukocyte formula. **Results and conclusions.** The conducted experimental studies led to the conclusion that the use of the sorbed probiotic "Ecoflor" has a positive effect on the physiological and immunological state of sturgeon fish. Thus, the hemoglobin level in the experimental groups increased to 49.17 g/l and was higher than the control values. The hematocrit level when using probiotics ranged from 25.3 to 27.6 %. The AHE index remained relatively stable in all growing variants and did not exceed 62.7 pg. When analyzing the biochemical parameters of sterlet blood, it was found that the protein concentration in the experimental variants tended to increase (up to 27.88 g/l), while the level of triglycerides, cholesterol and glucose decreased. The sterlet leukogram showed an increase in lymphocyte levels and a decrease in monocytes, most pronounced in the second experimental group (76.23 % and 3.79 %, respectively). Analysis of the leukocyte shift index revealed a decrease in all experimental groups compared with the control (values ranged from 0.25-0.27).

Keywords: *sterlet, sturgeon fish, sturgeon feeding, sturgeon breeding, probiotic feed additives.*

Citation. Zhandalgarova A. D., Grozesku Yu. N., Randelin D. A., Kravchenko Yu. V. Physiological and immunological state of sterlet when using the sorbed probiotic preparation based on Lacto- and Bifidobacterium. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 317-325 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-35.

Author's contribution. The authors of this study was directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. The authors of this article has reviewed and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declares no conflict of interest.

УДК 639.2/.3

**ФИЗИОЛОГО-ИММУНОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СТЕРЛЯДИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
СОРБИРОВАННОГО ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ
ЛАКТО- И БИФИДОБАКТЕРИЙ**¹Жандалгарова А. Д., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент¹Грозеску Ю. Н., доктор сельскохозяйственных наук, доцент²Ранделин Д. А., доктор биологических наук, доцент²Кравченко Ю. В., кандидат сельскохозяйственных наук¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

г. Астрахань, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-76-01019 «Разработка и исследование научно обоснованных методов повышения иммунологически обусловленной естественной резистентности организма рыб и регуляции их иммунного гомеостаза при использовании иммобилизованных форм биопрепаратов микробного происхождения в интенсивной аквакультуре», <https://rscf.ru/project/23-76-01019/>.

Актуальность. Известно, что индигенная микрофлора желудочно-кишечного тракта играет ключевую роль в поддержании физиологического гомеостаза организма, участвуя в различных метаболических процессах, а также в формировании и регуляции функций иммунной системы, обеспечивая тем самым противоинфекционную защиту. В настоящее время накоплен значительный объем данных, свидетельствующих о важности микробиоты кишечника в иммунорегуляции и поддержании иммунного гомеостаза. Тем не менее вопрос о потенциале пробиотических препаратов в модуляции иммунного ответа остается предметом активных исследований. Пробиотики, отличающиеся по составу и происхождению, варьируют как по выраженности пробиотических свойств, так и по характеру иммуномодулирующего действия. В состав некоторых пробиотических средств, помимо симбиотической микрофлоры, могут включаться дополнительные компоненты, такие как энтеросорбенты, способные в комплексе оказывать влияние на иммунную реактивность организма. Эффективность сорбированных пробиотиков во многом определяется формой выпуска, обеспечивающей высокую биодоступность и доставку жизнеспособных пробиотических микроорганизмов в необходимые отделы кишечника. В этой связи использование сорбированных пробиотических препаратов в условиях индустриальной аквакультуры с целью повышения иммунного статуса рыб представляется перспективным направлением. **Объект.** Объектом исследований являлись годовики стерляди. **Материалы и методы.** Исследования проводились в условиях кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Для оценки физиологического состояния исследуемых рыб определяли: концентрацию гемоглобина, общего белка, глюкозы, холестерина, триглицеридов, среднее содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ), уровень гематокрита, скорость оседания эритроцитов (СОЭ) и лейкоцитарную формулу. **Результаты и выводы.** Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать вывод о том, что применение сорбированного пробиотика «Экофлор» оказывает положительное влияние на физиолого-иммунологическое состояние осетровых рыб. Так, уровень гемоглобина в опытных группах повысился до 49,17 г/л и был выше контрольных значений. Уровень гематокрита при использовании пробиотика варьировал в пределах от 25,3 до 27,6 %. Показатель СГЭ оставался относительно стабильным во всех вариантах выращивания и не превышал 62,7 пг. При анализе биохимических показателей крови стерляди установлено, что концентрация белка в опытных вариантах имела тенденцию к повышению (до 27,88 г/л), в то время как уровень триглицеридов, холестерина и глюкозы снижался. В лейкограмме стерляди отмечалось повышение уровня лимфоцитов и снижение моноцитов, наиболее выраженное во второй опытной группе (76,23 и 3,79 %, соответственно). Анализ индекса сдвига лейкоцитов выявил его понижение во всех опытных группах по сравнению с контролем (значения варьировали в пределах 0,25-0,27).

Ключевые слова: стерлядь, осетровые рыбы, кормление осетровых рыб, разведение осетровых рыб, пробиотические кормовые добавки.

Цитирование. Жандалгарова А. Д., Грозеску Ю. Н., Ранделин Д. А., Кравченко Ю. В. Физиолого-иммунологическое состояние стерляди при использовании сорбированного пробиотического препарата на основе лакто- и бифидобактерий. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 317-325. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-35.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одним из важнейших условий успешного выращивания осетровых рыб является использование эффективной стратегии кормления, направленной на достижение высокой продуктивности при минимальных затратах кормов. Для этого необходимо применять полнорационные корма, обеспечивающие рыб всеми необходимыми нутриентами. Существенное значение в составе кормов имеют не только макро- и микроэлементы, но и различные кормовые добавки, в том числе пробиотики, в частности обладающие сорбционными свойствами. Такие препараты играют важную роль в поддержании кишечного гомеостаза, способствуют нормализации пищеварения и повышению устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям окружающей среды. В качестве сорбентов чаще всего используют природные соединения, включая цеолиты, бентониты и активированные угли, обладающие высокими показателями адсорбции. Иммобилизация пробиотических микроорганизмов на поверхности сорбентов обеспечивает их более эффективную доставку в пищеварительный тракт и поддерживает развитие функционально активной микрофлоры [1].

Сорбированная форма пробиотиков защищает лакто- и бифидобактерии от агрессивного воздействия среды пищеварительного тракта. Их применение улучшает усвояемость питательных веществ, повышает иммунный гомеостаз и ускоряет адаптацию рыб после воздействия стрессовых факторов, таких как использование антибиотиков, изменения гидрологического и гидрохимического режимов, бонитировка и транспортировка [2, 3].

Целью настоящего исследования явилось изучение влияния сорбированного пробиотического препарата на основе лакто- и бифидобактерий на физиолого-иммунологическое состояние стерляди.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились в условиях кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы» ФГБОУ ВО АГТУ в течение 30 суток по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Схема эксперимента
Table 1 – Experimental scheme

Группа / Group	Длительность эксперимента / Duration of the experiment	Дозировки препаратов / Dosages of drugs
Контрольная / Control	30	Основной рацион (ОР) / Basic diet (BD)
Опытная 1 / Experimental 1	30	ОР + 5 г/кг пробиотика / BD + 5 g/kg probiotic
Опытная 2 / Experimental 2	30	ОР + 7 г/кг пробиотика / BD + 7 g/kg probiotic
Опытная 3 / Experimental 3	30	ОР + 9 г/кг пробиотика / BD + 9 g/kg probiotic

В качестве объектов исследований использовали годовиков стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) (рисунок 1). Для проведения экспериментов был использован сорбированный пробиотик «Экофлор» на основе лактобактерий (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*) и бифидобактерий (*Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium adolescentis*). Указанные микроорганизмы иммобилизованы на пористом модифицированном углеродом энтеросорбенте СУМС-1 (рисунок 2). Нормативное содержание лактобактерий в препарате составляет 10^7 КОЕ/г, бифидобактерий – 10^8 КОЕ/г.

Процесс выращивания осетровых рыб проходил в стеклопластиковых бассейнах модели ИЦА-1 с соблюдением всех регламентированных требований [4].

Для комплексной оценки физиолого-иммунологического статуса исследуемых рыб осуществляли забор крови из хвостовой вены с последующим определением ряда биохимических и гематологических показателей. В процессе исследования измеряли концентрацию гемоглобина, общего белка, глюкозы, холестерина и триглицеридов. Кроме того, определяли среднее содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ), уровень гематокрита, скорость оседания эритроцитов (СОЭ) и лейкоцитарную формулу. Кровь собирали в сухую стерильную пробирку при помощи медицинского шприца. Для получения сыворотки образец выдерживали в штативе при комнатной температуре в течение часа, после чего помещали в холодильник с температурой 4 °С на 24 часа, что обеспечивало процесс свертывания крови и ретракции сгустка. Затем с использованием шприца с тонкой иглой осуществляли перенос сыворотки крови в пробирку Эппендорфа для дальнейшего анализа.



Рисунок 1 – Выращивание стерляди в УЗВ
Figure 1 – Sterlet cultivation in a closed-circuit water supply system



Рисунок 2 – Исследуемый пробиотический препарат
Figure 2 – Probiotic drug under study

Определение концентрации гемоглобина проводили с использованием гемоглобин-цианидного метода. Содержание общего белка в плазме крови измеряли биуретовым методом. Холестерин в сыворотке крови осетровых рыб определяли с помощью энзиматического метода. Уровень триглицеридов в сыворотке крови определяли с применением энзиматического колориметрического метода. Концентрацию глюкозы в сыворотке крови оценивали с использованием энзиматического колориметрического метода без депротеинизации, согласно реакции Триндера. Среднее содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ) определяли по формуле И. И. Гительзон, И. А. Терскова. Количество эритроцитов (10^6 мкл) определяли пробирочным методом в камере Горяева. Определение СОЭ проводили при помощи прибора Т. П. Панченкова [5, 6].

Для определения оптической плотности анализируемых проб применяли спектрофотометр Unicо 2100. Для изучения мельчайших деталей на гистологических препаратах крови применялся электронный микроскоп Olympus (Япония). Мазки крови готовили с применением фиксатора-красителя азур-эозин по Романовскому [5, 6, 7]. Определение лейкоцитарной формулы осуществляли методом иммерсионной микроскопии окрашенных мазков крови (увеличение $100\times 1,25$). В ходе исследования производился подсчет 200 клеток крови с последующим определением их процентного распределения в мазке [7]. Для определения отклонений в гематологических показателях использовали индекс сдвига лейкоцитов, который определялся как отношение количества гранулоцитов к агранулоцитам.

Измерения и взвешивание рыбы проводились согласно рекомендациям И. Ф. Правдина [8]. Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке с вычислением средней ошибки. Статистическая обработка цифровых данных осуществлялась с использованием программных пакетов Statistica v 6.0 и Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и обсуждение. Кровь представляет собой внутреннюю среду организма, реагирующую на внешние и внутренние воздействия. В гематологическом анализе рыб важную диагностическую ценность имеют такие показатели, как концентрация гемоглобина в сыворотке крови, количество эритроцитов и лейкоцитов, лейкоцитарная формула, а также абсолютное содержание различных групп лейкоцитов. Чем шире спектр исследуемых параметров, тем точнее и объективнее можно оценить физиологическое состояние организма рыб [9-12].

Анализ гематологических показателей годовиков стерляди, в рацион которых входили комбикорма с пробиотическим препаратом, иммобилизованным на энтеросорбенте, не показал никаких признаков заболеваний рыб (таблица 2).

Таблица 2 – Гематологические показатели стерляди
Table 2 – Hematological parameters of sterlet

Показатель / Index	Группа / Group			
	Контрольная / Control	Опытная 1 / Experimental 1	Опытная 2 / Experimental 2	Опытная 3 / Experimental 3
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	43,29 $\pm$ 1,53	47,37 $\pm$ 0,70	49,17 $\pm$ 0,77	44,64 $\pm$ 1,18
СОЭ, мм/ч / ESR, mm/h	3,25 $\pm$ 0,26	3,10 $\pm$ 0,22	3,05 $\pm$ 0,17	2,50 $\pm$ 0,24
Гематокрит, % / Hematocrit, %	22,7 $\pm$ 0,84	25,3 $\pm$ 0,47	27,6 $\pm$ 0,60	26,1 $\pm$ 0,73
Эритроциты, 10^6 мкл / Erythrocytes, $10^6 \mu l$	0,69 $\pm$ 0,03	0,80 $\pm$ 0,06	0,84 $\pm$ 0,05	0,77 $\pm$ 0,04
СГЭ, пг / SGE, PG	62,7 $\pm$ 2,06	59,2 $\pm$ 1,84	58,5 $\pm$ 1,61	58,0 $\pm$ 1,33

В результате проведенных исследований установлена положительная динамика применения пробиотика-энтеросорбента в опытных группах, что выражено повышением концентрации гемоглобина в крови осетровых рыб. Уровень гемоглобина в данных вариантах выращивания увеличился до 49,17 г/л, что на 13,58 % выше, чем у рыб контрольной группы. Повышение концентрации гемоглобина в пределах референсных значений, вероятно связано с более интенсивным протеканием обмена веществ в организме выращиваемых рыб. Использование пробиотического препарата в кормах для осетровых рыб предполагает положительное воздействие на микроциркуляцию крови, улучшая ее реологические показатели.

Особое значение при изучении гематологических показателей играют: количество гематокрита, эритроцитов, а также среднее содержание гемоглобина в эритроците. Гематокрит представляет собой показатель, отражающий, какой объем крови занимают эритро-

циты. Полученные данные подтверждают эффективность дозировки препарата – 7 г/кг, при использовании которой уровень гематокрита составил 27,6 %. В контрольной группе наблюдалось более низкое значение данного показателя (22,7 %), что напрямую связано со снижением количества эритроцитов в крови годовиков стерляди ($0,69 \times 10^6$ мкл).

Показатель СГЭ, оставался относительно стабильным во всех вариантах выращивания. Однако в контрольной группе данный показатель составлял 62,7 пг, а в опытных вариантах наблюдалось его незначительное снижение, что может свидетельствовать о более эффективном распределении клеток крови в организме рыб и улучшении их функциональных характеристик. В целом применение пробиотического препарата в составе комбикормов оказывало положительное влияние на состояние кровеносной системы стерляди, выраженное улучшением уровня гематокрита и количества эритроцитов, что повышало общую физиологическую устойчивость организма рыб.

Анализ биохимических показателей крови показал, что применение сорбированного пробиотического препарата оказывало влияние на основные обменные процессы стерляди (рисунок 3). Концентрация общего белка в крови рыб опытных групп была выше, чем в контрольной, и увеличилась до 27,88 г/л, что может указывать на улучшение белково-синтетической активности. Уровень триглицеридов, холестерина и глюкозы был ниже контрольного варианта, что свидетельствует о более эффективном липидном обмене и улучшении энергетического обмена. Полученные результаты подтверждают, что сорбированные пробиотики влияют на метаболические процессы, улучшая белковый и липидный обмен у выращиваемых рыб.

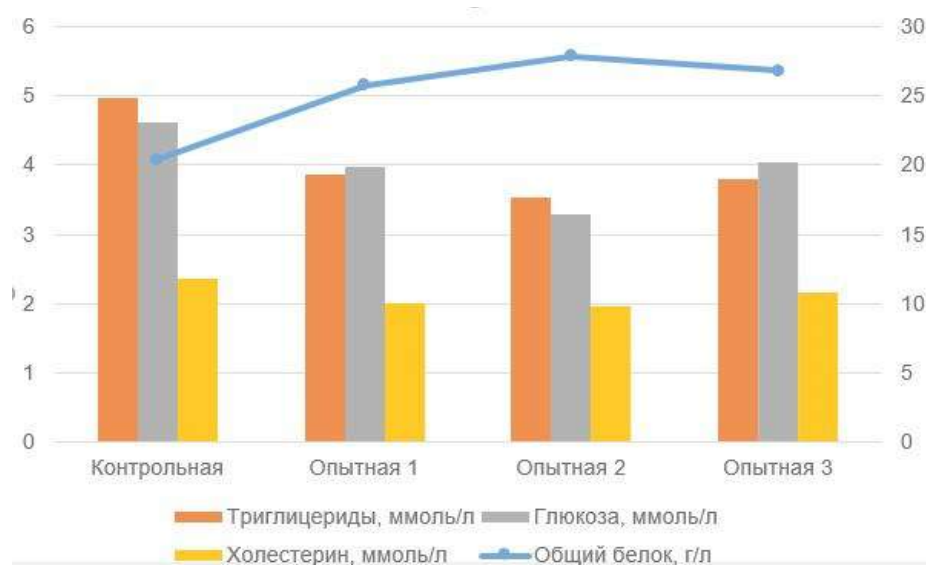


Рисунок 3 – Биохимические показатели крови годовиков стерляди
Figure 3 – Biochemical blood parameters of sterlet yearlings

Проведенный анализ лейкограммы периферической крови стерляди при использовании сорбированного пробиотика представлен на рисунках 4, 5.

В лейкоцитарной формуле исследуемых рыб наблюдалось перераспределение различных групп лейкоцитов. Так, у годовиков стерляди опытных групп отмечалось увеличение уровня лимфоцитов, наиболее выраженное во второй опытной группе (76,23 %), что может свидетельствовать об активации иммунного ответа. Одновременно фиксировалось снижение количества моноцитов до 3,79 %, вероятно обусловленное положительным воздействием используемого пробиотического препарата. Уменьшение уровня сегментоядерных нейтрофилов в опытных вариантах выращивания может свидетельствовать об изменении баланса иммунных клеток, в то время как незначительное увеличение палочкоядерных нейтрофилов предполагает возникновение компенсаторных реакций организма. При этом содержание эозинофилов оставалось практически неизменным, что говорит о стабильном аллергическом и паразитарном статусе исследуемых рыб.

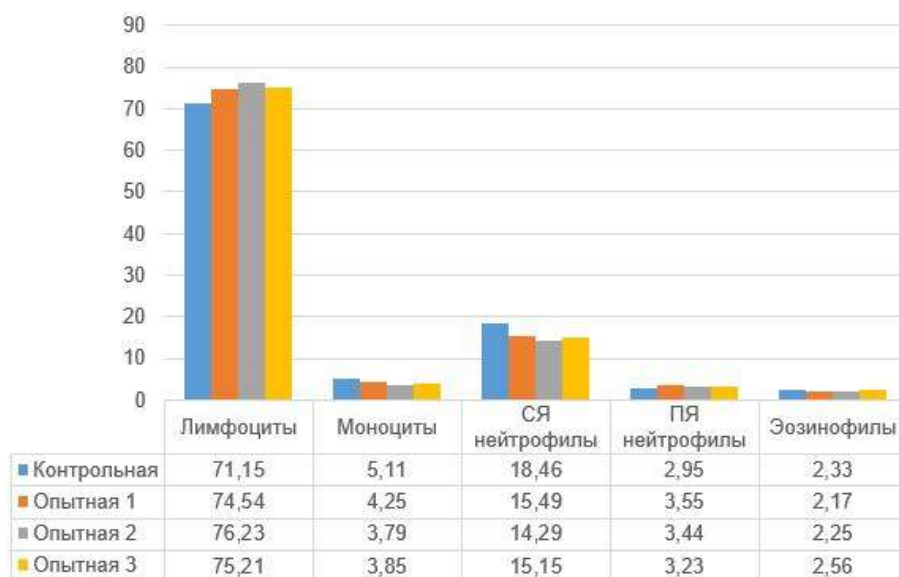


Рисунок 4 – Лейкоцитарная формула периферической крови стерляди, %
Figure 4 – Leukocyte formula of sterlet peripheral blood, %

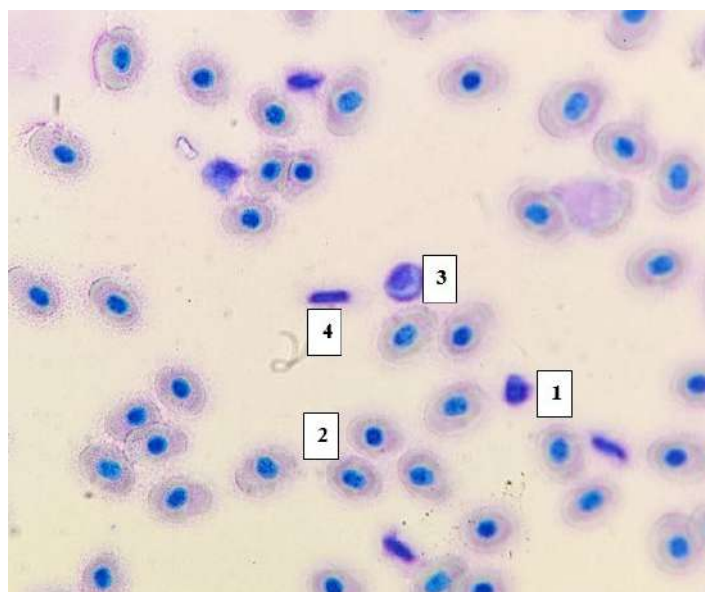


Рисунок 5 – Мазок крови годовиков стерляди: 1 – лимфоцит; 2 – эритроцит; 3 – моноцит; 4 – тромбоцит
Figure 5 – Blood smear of sterlet yearlings: 1 – lymphocyte; 2 – erythrocyte; 3 – monocyte; 4 – platelet

Анализ индекса сдвига лейкоцитов показал его снижение во всех опытных группах по сравнению с контрольной, что свидетельствует о снижении напряженности иммунного ответа (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние пробиотика на индекс сдвига лейкоцитов в крови стерляди
Table 3 – Effect of the probiotic on the white blood cell shift index in sterlet blood

Группа / Group	Индекс сдвига лейкоцитов / Leukocyte Shift Index
Контрольная / Control	0,31±0,02
Опытная 1 / Experimental 1	0,27±0,03
Опытная 2 / Experimental 2	0,25±0,01
Опытная 3 / Experimental 3	0,27±0,11

Наибольшее уменьшение индекса сдвига лейкоцитов наблюдалось во второй опытной группе (0,25±0,01), что может свидетельствовать о нормализации иммунного состояния и снижении воспалительных реакций в организме стерляди. В остальных опытных группах

также было отмечено снижение данного показателя, однако оно было менее выражено. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии пробиотического препарата «Экофлор» на иммунную систему осетровых рыб.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что применение сорбированного пробиотического препарата «Экофлор» оказывает выраженное положительное влияние на физиолого-иммунологическое состояние годовиков стерляди.

У рыб опытных групп отмечено достоверное повышение уровня гемоглобина по сравнению с контролем (до $49,17 \pm 0,77$ г/л), гематокрит увеличился до $27,6 \pm 0,60$ %, а количество эритроцитов – до $0,84 \pm 0,05 \times 10^6$ /мкл, что свидетельствует об улучшении кроветворения и кислородтранспортной функции крови выращиваемых рыб.

Анализ биохимических показателей показал, что для рыб опытных групп было характерно повышение уровня общего белка (до $27,88 \pm 0,52$ г/л) и снижение концентрации триглицеридов (до $3,54 \pm 0,09$ ммоль/л), что указывает на активизацию белкового обмена и нормализацию липидного профиля.

Анализ лейкограммы крови стерляди показал увеличение доли лимфоцитов и снижение уровня моноцитов, что отражает активацию специфических механизмов иммунитета. Индекс сдвига лейкоцитов находился в пределах физиологической нормы, что отображает стабильное течение лейкопоза и отсутствие признаков иммунологического напряжения у осетровых рыб.

Таким образом, применение пробиотика «Экофлор» способствует улучшению гематологических и биохимических параметров крови, модулирует лейкоцитарную формулу и положительно влияет на иммунологическую реактивность стерляди.

Conclusions. As a result of the conducted studies, it was found that the use of the sorbed probiotic drug "Ecoflor" has a pronounced positive effect on the physiological and immunological condition of sterlet yearlings.

In the fish of the experimental groups, there was a significant increase in hemoglobin levels compared with the control (up to 49.17 ± 0.77 g/l), hematocrit increased to 27.6 ± 0.60 %, and the number of red blood cells increased to $0.84 \pm 0.05 \times 10^6/\mu\text{l}$, which indicates an improvement in hematopoiesis and oxygen transport function of the blood of farmed fish.

The analysis of biochemical parameters showed that for the fish of the experimental groups there was a characteristic increase in the level of total protein (up to 27.88 ± 0.52 g/l) and a decrease in the concentration of triglycerides (up to 3.54 ± 0.09 mmol/l), which indicates the activation of protein metabolism and normalization of the lipid profile.

Analysis of sterlet blood leukograms showed an increase in the proportion of lymphocytes and a decrease in the level of monocytes, reflecting the activation of specific immune mechanisms. The leukocyte shift index was within the physiological norm, which reflects the stable course of leukopoiesis and the absence of signs of immunological stress in sturgeon fish.

Thus, the use of the probiotic "Ecoflor" improves the hematological and biochemical parameters of the blood, modulates the leukocyte formula and positively affects the immunological reactivity of sterlet.

Библиографический список

1. Жандалгарова А. Д., Бахарева А. А., Грозеску Ю. Н. Оценка влияния пробиотического препарата на энтеросорбенте «Флорин форте» на физиолого-иммунологическое состояние бестера. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 42-47.
2. Жандалгарова А. Д., Микряков Д. В., Сергина Ю. А., и др. Влияние иммобилизованной формы пробиотического препарата «Экофлор» на показатели неспецифического гуморального иммунитета осетровых рыб. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 77-84.
3. Тарлева А. Ф., Микряков Д. В., Жандалгарова А. Д. Влияние пробиотического препарата «Экофлор» на протеолитическую активность кишечника стерляди. Международный вестник ветеринарии. 2024. № 1. С. 215-223.
4. Пономарев С. В., Грозеску Ю. Н., Бахарева А. А. Индустриальное рыбоводство: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
5. Амиров Д. Р., Тамимдаров Б. Ф., Шагеева А. Р. Клиническая гематология животных: учебное пособие. Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2020.
6. Карпова Е. А., Аникиенко И. В., Сайванова С. А., Ильина О. П. Ветеринарная гематология: учебное пособие. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2020.
7. Полозюк О. Н., Ушакова Т. М. Гематология: учебное пособие. Персиановский: Донской ГАУ, 2019.
8. Волкова А. Ю. Методы рыбохозяйственных исследований: учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2021.
9. Варакина В. В. Гематологические маркеры для оценки физиологического состояния муксуна. Сборник материалов Всероссийской конференции ученых и специалистов, посвященной 160-летию Н. М. Книповича. Мурманск: Полярный филиал ВНИИРХ, 2023. С. 119-124.
10. Романова Н. Н., Головина Н. А., Головин П. П. и др. Гематологические показатели муксуна (*Coregonus muksun* Salmonidae) при формировании ремонтно-маточного стада в условиях рыбоводного завода. Вопросы рыболовства. 2020. № 3. С. 331-342.
11. Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. Aquaculture. 2019. V. 500. Pp. 237-242.
12. Witeska M., Kondera E., Lugowska K., Bojarski B. Hematological methods in fish – Not only for beginners. Aquaculture. 2022. V. 547. 737498.

References

1. Zhandalgarova A. D., Bakhareva A. A., Grozesku Yu. N. Assessment of the effect of the probiotic preparation "Florin forte" on the enterosorbent on the physiological and immunological state of bester. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2023. No 4. Pp. 42-47.
2. Zhandalgarova A. D., Mikryakov D. V., Sergina Yu. A., et al. The effect of the immobilized form of the probiotic preparation "Ecoflor" on the indices of nonspecific humoral immunity of sturgeon fish. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2023. No 2. Pp. 77-84.
3. Tarleva A. F., Mikryakov D. V., Zhandalgarova A. D. The effect of the probiotic preparation "Ecoflor" on the proteolytic activity of the sterlet intestine. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024. No 1. Pp. 215-223.
4. Ponomarev S. V., Grozesku Yu. N., Bakhareva A. A. Industrial fish farming: Textbook. Saint Petersburg: Lan', 2022.
5. Amirov D. R., Tamimdarov B. F., Shageeva A. R. Clinical Hematology of Animals: Textbook. Kazan: Center for Information Technologies of KSAU, 2020.
6. Karpova E. A., Anikiyenko I. V., Sayvanova S. A., Ilyina O. P. Veterinary Hematology: Textbook. Irkutsk: Irkutsk SAU, 2020.
7. Polozyuk O. N., Ushakova T. M. Hematology: Textbook. Persianovsky: Don SAU, 2019.
8. Volkova A. Yu. Methods of fisheries research: Textbook. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University Press, 2021.
9. Varaksina V. V. Hematological markers for assessing the physiological state of muksun. Proceedings of the All-Russian Conference of Scientists and Specialists dedicated to the 160th anniversary of N. M. Knipovich. Murmansk: Polar Branch of VNIRO, 2023. Pp. 119-124.
10. Romanova N. N., Golovina N. A., Golovin P. P., et al. Hematological indicators of muksun (Coregonus muksun Salmonidae) during the formation of broodstock under fish hatchery conditions. Fisheries issues. 2020. No 3. Pp. 331-342.
11. Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. Aquaculture. 2019. V. 500. Pp. 237-242.
12. Witeska M., Kondera E., Lugowska K., Bojarski B. Hematological methods in fish – Not only for beginners. Aquaculture. 2022. V. 547. 737498.

Информация об авторах

Жандалгарова Аделя Джуманияшевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16/1), e-mail: zhandalgarova@mail.ru

Грозеску Юлия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Ранделин Дмитрий Александрович, доктор биологических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Кравченко Юрий Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

Authors' Information

Zhandalgarova Adelya Dzhumaniashevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16/1), e-mail: zhandalgarova@mail.ru

Grozesku Yulia Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Randelin Dmitry Aleksandrovich, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave. 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Kravchenko Yuri Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave. 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-36

THE POSSIBILITY OF USING CAVITATION FOR WATER DISINFECTION AND PURIFICATION IN WATER TREATMENT AND WATER EXCHANGE IN AQUACULTURE

¹Klimov V. A., ¹Kochetkov N. I., ¹Gorbunov A. V., ¹Makhov S. M., ¹Ivanov S. S.,
²Kravchenko Yu. V.

¹Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky
Moscow, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: v.klimov@mgut.ru

Received 07.04.2025

Submitted 21.05.2025

The studies were carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement on the provision of a subsidy from the federal budget for the development of cooperation between a Russian educational organization of higher education and an organization of the real sector of the economy in order to implement a comprehensive project to create high-tech production No. 075-11-2022-004 dated April 6, 2022).

Abstract

The development of aquaculture in recent decades has been closely related to the continuous improvement of feeding and maintenance technologies for aquatic organisms. For further intensification of industrial aquaculture, it is necessary to develop more advanced technologies for organic matter removal and disinfection. The currently used disinfection methods (UV, ozonation, etc.) have a number of limitations: a) low effi-

ciency of destruction of some species of protozoa, parasitic worms, crustaceans and viruses; b) formation of disinfection by-products, and c) the presence of additional pollutants in the aquatic environment that reduce the biocidal effect. Cavitation is a promising method of water disinfection in aquaculture due to the generation of a large number of highly reactive free radicals and mechanical forces capable of degrading organic pollutants and destroying microorganisms. This review presents information on the use of cavitation (hydrodynamic and ultrasonic) as a safe method of water purification and disinfection for subsequent use in aquaculture. The main mechanisms of the biocidal and catalytic effect of cavitation were considered; the characteristics and conditions that allow the greatest degree of destruction of microorganisms were noted, as well as assumptions about the different effects of cavitation on living organisms in the aquatic environment. The information provided in this review will be useful for the development and introduction of cavitation systems in aquaculture.

Keywords: aquaculture, water disinfection, water purification, cavitation, water purification methods.

Citation. Klimov V. A., Kochetkov N. I., Gorbunov A. V., Makhov S. M., Ivanov S. S., Kravchenko Yu. V. The possibility of using cavitation for water disinfection and purification in water treatment and water exchange in aquaculture. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 325-335 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-36.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 639.3.07

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАВИТАЦИИ ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ И ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ И ВОДООБМЕНЕ В АКВАКУЛЬТУРЕ

¹Климов В. А., кандидат технических наук

¹Кочетков Н. И., кандидат биологических наук, младший научный сотрудник

¹Горбунов А. В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

¹Махов С. М., аспирант

¹Иванов С. С., ведущий инженер

²Кравченко Ю. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ГТУ)

г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение о предоставлении из федерального бюджета субсидии на развитие кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства № 075–11–2022–004 от 6 апреля 2022 г.).

Аннотация. Развитие аквакультуры в последние десятилетия тесно связано с постоянным совершенствованием технологий кормления и содержания гидробионтов. Для дальнейшей интенсификации индустриальной аквакультуры необходимо развитие более продвинутых технологий очистки от органического вещества и обеззараживания. Применяемые на данный момент методы дезинфекции (УФ, озонирование и др.) обладают рядом ограничений: а) низкая эффективность уничтожения некоторых видов простейших, паразитических червей, ракообразных и вирусов; б) формирование образований побочных продуктов дезинфекции, а также в) наличие дополнительных загрязнителей в водной среде, снижающих биоцидный эффект. Кавитация является перспективным способом дезинфекции воды в аквакультуре ввиду генерации большого числа высокореактивных свободных радикалов и механических сил, способных к деструкции органических загрязнителей и уничтожению микроорганизмов. Данный обзор представляет сведения о применении кавитации (гидродинамической и ультразвуковой) как безопасного метода очистки и дезинфекции воды для последующего применения в аквакультуре. Были рассмотрены основные механизмы биоцидного и каталитического эффекта кавитации; отмечены характеристики и условия, позволяющие добиваться наибольшей степени уничтожения микроорганизмов, а также предположения о различном действии кавитации на живые организмы в водной среде. Информация, приведенная в данном обзоре, будет полезна для разработки и интродукции систем кавитации в аквакультуру.

Ключевые слова: аквакультура, дезинфекция воды, очистка воды, кавитация, способы очистки воды.

Цитирование. Климов В. А., Кочетков Н. И., Горбунов А. В., Махов С. М., Иванов С. С., Кравченко Ю. В. Возможность использования кавитации для дезинфекции и очистки воды при водоподготовке и водообмене в аквакультуре. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 325-335. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-36.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время аквакультура является одной из наиболее активно развивающихся отраслей сельского хозяйства. За период с 2016 года наблюдается существенный рост аквакультурной продукции, который прочно связан с совершенствованием технологий кормления и содержания гидробионтов [1, 2].

Развитие аквакультуры требует применения современных технологий контроля за гидрохимическими параметрами среды и физиологическим состоянием гидробионтов. Одним из основных технических моментов является процесс водоподготовки для хозяйств бассейнового типа, который включает в себя фильтрацию от посторонних примесей и в случае необходимости дезинфекцию. После этого вода поступает в систему рециркуляции. В ходе водообмена вода из емкостей выращивания проходит этапы механической (удаление крупных взвесей) и биологической (деградация продуктов метаболизма протеинов) фильтрации, а также дезинфекции с использованием ультрафиолетового излучения (УФ) и/или озонирования [3].

На данный момент в аквакультурных хозяйствах для дезинфекции применяются различные подходы, среди которых обработка УФ излучением [4], озонирование [5, 6] и продвинутое окислительные процессы в специализированных электрохимических реакторах [7] являются наиболее распространенными.

Дезинфекция вод аквакультуры с использованием химических соединений, таких как диоксид хлора, гипохлорит натрия и перекись водорода [8] не производится в виду образования ими мутагенных и канцерогенных агентов [9].

УФ излучение выступает наиболее безопасным и дешёвым способом дезинфекции воды от микроорганизмов и вирусов. Помимо этого, УФ излучение может приводить к фотохимической редукции нитратов [10] и ряда других соединений. Несмотря на это, УФ обладает низкой эффективностью уничтожения некоторых видов простейших, паразитических червей и ракообразных [11, 12], а также вируса инфекционного панкреатического некроза [13], который является распространённым заболеванием в аквакультуре. Достоверно известно, что эффективность УФ может варьироваться в зависимости от ряда параметров (время экспозиции, температура среды, pH и содержания органических веществ/ХПК [14], постоянный контроль за которыми при водоочистке не всегда возможен).

Озонирование используется для дезинфекции, в том числе организмов резистентных к химиотерапевтическим методам [15], но также оно эффективно в окислении взвешенных частиц или растворенных органических веществ, в частности белков и аминокислот [6, 16]. Применение озонирования в очистке воды для аквакультурных хозяйств ограничено ввиду образования побочных продуктов дезинфекции (ППД), которые могут оказывать негативные действия на здоровье объектов выращивания [17-19]. Озонирование может применяться совместно с УФ для дополнительной дезинфекции и осветления воды [5], а также для подготовки воды для перевозки рыб [13].

Применение вышеописанных методов также зависит от количества и состава взвешенных частиц в воде. Колониальные и спорообразующие микроорганизмы способны прикрепляться к частицам, формируя стабильные агломераты, лишь частично подверженные биоцидному действию УФ и озонирования [20-22].

Кавитация является перспективным способом дезинфекции воды в аквакультуре ввиду генерации большого числа высокореактивных свободных радикалов, способных к деструкции органических загрязнителей и уничтожению микроорганизмов [23, 24]. Кавитация описывается как физический процесс образования, роста и последующего схлопывания микропузырьков, вызывая механические [25] и сонохимические эффекты (окисление свободными радикалами, пиролизный распад и др.) [26].

Кавитация активно применяется в таких отраслях производства, как металлургия [27], пищевая [28-29] и химическая промышленности [30], а также медицина [31] и биотехнологии [32, 33].

Было показано, что фотохимические процессы, индуцируемые кавитацией, могут способствовать деградации ряда загрязнителей [20, 23, 34, 35], а также участвовать в инаktivации микроорганизмов и многоклеточных [36]. Гидродинамическая и УЗ кавитация

представляют собой потенциальную альтернативу традиционным методам профилактики болезней [24, 37] и дезинфекции при водоподготовке и водообмене. Помимо этого, кавитация является безопасным методом обработки воды ввиду отсутствия ППД [38].

Целью данной работы является рассмотрение применения кавитации (гидродинамической и ультразвуковой) как безопасного метода очистки и дезинфекции воды для последующего применения в аквакультуре.

Результаты и обсуждение.

Физические и химические процессы кавитации. Существуют четыре типа кавитации: ультразвуковая, гидродинамическая, оптическая и кавитация частиц. Из них первые две наиболее часто применяются для очистки и дезинфекции воды [39]. Оптическая и кавитация частиц не нашли широкого применения в виду того, что индуцируемые ими физико-химические изменения не оказывают значительного влияния на большие объемы растворов по причине незначительного количества квантационных полостей и малого количества энергии, недостаточного для схлопывания пузырька [20].

Акустическая или ультразвуковая кавитация возникает при прохождении УЗ через жидкость, гидродинамическая же кавитация появляется при изменении давления. Выделяют две формы кавитации [40]: (1) в результате падения статического давления ниже давления испарения; при попадании пузырьков в область с более высоким давлением происходит имплозия – переходная кавитация; (2) образование пузырьков из растворенных в жидкости газов, что препятствует имплозии – стабильная кавитация. Для технологических процессов, в том числе для очистки воды, применяется именно переходная кавитация.

При переходной кавитации происходит разрушение полостей (пузырьков) и образуется большое количество энергии, выражаемой в импульсивном давлении, достигающем 500-10000 атм. и температуры 3000-5000 К [30, 41]. Эффекты, порождаемые кавитацией, можно разделить на две группы, а именно механические и сонохимические.

Экстремальные условия имплозии кавитационных полостей приводят к образованию в результате диссоциации гидроксильных и водородных свободных радикалов. Образование вторичных окислителей – перекиси водорода, вызвано рекомбинацией радикалов OH и HO_2 . Стоит также выделить явление низкотемпературного пиролиза, который происходит на границе раздела газ-жидкость (некоторые авторы называют данную границу «сверхкритической») [42]. Другим путем проявления синонимического эффекта можно назвать пиролитический распад внутри горячих точек.

Таким образом, можно выделить три различных региона полости: 1) внутри газовой полости; 2) тонкий гидрофобный слой, окружающий газовую полость и 3) окружающий объем жидкости. Внутри газовой полости при экстремальных условиях происходит термическая диссоциация, в свою очередь слой на разделе газ-жидкость является дополнительным регионом термической диссоциации и реакций окисления-восстановления свободных радикалов (рисунок 1).

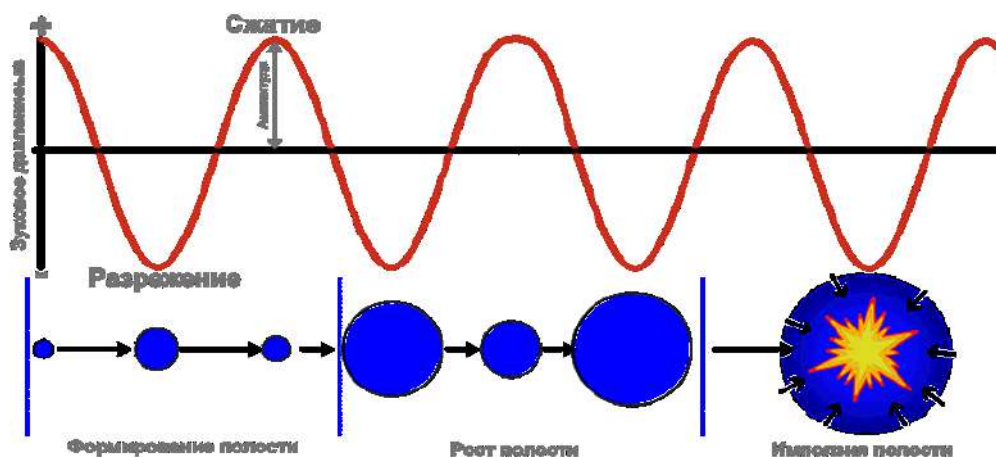


Рисунок 1 – Формирование и имплозия кавитационного пузырька при действии волн сжатия индуцированных УЗ

Figure 1 – Formation and implosion of a cavitation bubble under the action of ultrasound-induced compression waves

Механические эффекты кавитации представляют собой комбинацию турбулентности, микропотоков и акустического ветра [43]. Действие механических сил на поллютанты и живые организмы до конца не изучено, однако предполагается, что вышеописанные механизмы создают механический стресс [44, 45], способный, например, повышать проницаемость мембран клеток для катионов. Возникновение локальной турбулентности и акустических течений (микроциркуляция жидкости) приводит к увеличению скорости транспортных процессов, а также как отмечают Mason и Lorimer, устраняет сопротивления массопереносу в гетерогенных системах [46].

Феномен гидродинамической кавитации происходит, когда жидкость проходит через сужение или при получении вращательного импульса (лопасти гидротурбин, гребные винты кораблей и др.) [47, 48]. Так, для достижения переходной гидродинамической кавитации используют изменение геометрии системы с помощью отверстий или труб Вентури и др. Достижение максимальной энергетической эффективности возможно за счет контроля за геометрическими и рабочими условиями реактора, например величины турбулентности, геометрии сужения и условия течения жидкости [20].

Метод гидродинамической кавитации нашел ограниченное применение в различных биотехнологических процессах (разрушения клеток, гомогенизация растворов), требующих жестких условий реакции. Из ключевых преимуществ гидродинамической кавитации стоит выделить: дешевизну и энергоэффективность генерации полостей, простоту эксплуатации и обслуживания, а также возможность легкого масштабирования [49, 50]. Авторы предполагают, что данный метод кавитации может быть использован для дезинфекции более эффективно, чем УЗ кавитация, ввиду значительно меньших затрат энергии при постоянной работе.

Сонохимические и механические эффекты акустической кавитации различаются в зависимости от частоты или акустической интенсивности (Вт/м^2). Так, УЗ можно разделить на высокочастотный (ВЧУЗ) с короткой длиной волны, создающей большое число полостей с меньшим максимальным диаметром, и низкочастотный (НЧУЗ), приводящий к образованию меньшего числа полостей с большим максимальным диаметром за счет большего времени цикла сжатия и разрежения (длины волны) [8, 51]. Стоит также отметить, что полости, индуцируемые НЧУЗ при имплозии, продуцируют большее количество энергии [52], приводящее к получению более сильных механических эффектов. При этом, как отмечают Nam-Koong [44] и Hua [53], ВЧУЗ имеет более высокий сонохимический потенциал за счет короткой длины волны, создающий большое число мелких полостей. Вероятно, увеличение количества полостей способствует увеличению площади внутренней полости и гидрофобного слоя, где происходят реакции пиролиза (т.е. образование гидроксильных и водородных свободных радикалов).

Таким образом, кавитация приводит к развитию целого спектра механических и химических эффектов в воде. Сила и продолжительность этих явлений напрямую зависят от конструкции реактора и типа кавитации, что накладывает определенные ограничения на конструкцию и области эксплуатации.

Биоцидное действие кавитации. Наиболее ранняя работа по применению УЗ кавитации для дезинфекции была проведена Harvey и др. в 1920-ых. В ней было рассмотрено влияние ультразвукового излучения с частотой 375 кГц на суспензию *Bacillus fisheri* [54]. Дальнейшее изучение механизмов кавитации и ее эффектов на физические и химические параметры водной среды привело к дальнейшему развитию исследований по применению УЗ кавитации в дезинфекции. В последние 20 лет исследователи сосредоточили свое внимание на влиянии кавитации на различных бактерий, распространенных в водной среде. В частности, особое внимание уделяется различным штаммам *Escherichia coli*.

Исследование УЗ кавитации, индуцированной генератором Horn type, получило наиболее широкое распространение в лабораторных опытах ввиду простоты эксплуатации и дешевизны данного типа кавитаторов. Так, экспозиция при 42 kHz в 15 мин. приводила к снижению КОЭ/мл на 73,3 %, а увеличение срока до 60 мин уже к 99,8 % деструкции микроорганизмов [55]. В работе Furuta и др. более низкая частота УЗ (27,5 kHz) приводила к уменьшению числа микроорганизмов (*Escherichia coli* XL1-Blue) на 99,9 % при длине экспозиции в 3 мин. [56]. НЧУЗ также приводил к снижению количества штаммов *Escherichia coli* (ATCC 25922) и *Enterococcus faecalis* (ATCC 11700) до log 4 и log 6 соответственно при продолжительности излучения в 9 минут. Исследование Mason и др. с использованием ла-

бораторной УЗ кавитационной установки (Martin Walter push-pull, 27 kHz) позволило добиться снижения КОЕ/мл *B. subtilis* на 73 % [24, 46]. В случае применения гидродинамической кавитации, как продемонстрировали в своей работе Karamah & Sunarko, существенное снижение числа бактерий наблюдается при работе установки в течение 60 минут [50]. Авторами также отмечается, что степень дезинфекции зависит от изначального числа бактерий. Увеличение обсемененности ведет к удлинению срока работы установки для полной деструкции микроорганизмов. Количество полостей при росте числа КОЭ/мл может быть недостаточно для уничтожения части бактерий [49]. Можно предположить, что использование ВЧУЗ для индигирования большего числа полостей с малой энергией имплозии будет более эффективна в случае высокой обсеменённости водной среды.

Полученные в вышеописанных работах данные позволяют предположить, что применение УЗ кавитации и гидродинамической кавитации, как единственного метода дезинфекции вод, может быть эффективно, однако оно зависит от ряда условий, которые могут существенно ограничить применение и эффективность данных методов.

Использование УЗ/гидродинамической кавитации совместно с другими методами дезинфекции приводит к более значимым результатам, особенно при однократной обработке. Применение УЗ кавитации совместно с гипохлоритом натрия снижает представленность *Escherichia coli* с 10^8 до 10^5 КОЕ/мл [57]. Улучшение биоцидного эффекта наблюдалась в случае 850 кГц при предварительной обработке суспензии бактерий NaOCl и 20 кГц в случае одновременного применения соникации и гипохлорита. Хлорирование при действии УЗ кавитации частотой 80 кГц также показало положительную динамику снижения общего числа колиморфных бактерий [58].

Длительное УЗ излучение приводит к снижению количества КОЕ *Escherichia coli* до $\log 2,9$ (46 %), в то время как предварительная обработка УЗ (10 с) и последующей УФ обработкой (30 с) приводили к уменьшению бактерии до $\log 0,9$ (80 %) [59]. В данной работе также продемонстрировано влияние УЗ на размер частиц и показано, что мощности 30 W/L достаточно для изменения размерного состава частиц. По этим причинам авторами предполагается, что повышенная эффективность дезинфекции при совместном применении УЗ и УФ связана с деагломерацией частиц.

В работе Annisha и др. показано УФ и УЗ кавитационная обработка одинаково эффективна в устранении резистентных штаммов *Escherichia coli* ниже $\log 2$ КОЕ [60]. При этом частота 130 кГц оказывается более эффективной при продолжительности кавитации 60 минут. Совместное применение данных методов позволяет снизить количество бактерий вплоть до $\log 1$ КОЕ. При совмещении гидродинамической кавитации трубкой Вентури и озонирования численность *E. coli* снизилась на 100 % за 45 мин. [61]. Отдельно применение гидродинамической кавитации приводило к снижению количества бактерий на 79 % уже за 60 минут.

Dadjoug и соавторы рассмотрели в своей работе влияние оксида титана на течение каталитических процессов и дезинфекцию УЗ кавитацией [62]. Оксид титана способен катализировать образование гидроксильных и водородных радикалов, участвуя в фотохимических реакциях. Использование TiO_2 совместно с УЗ кавитацией позволило добиться снижения КОЭ/мл на 98 %. Участие оксида титана в образовании активных радикалов, в частности активных форм кислорода, вероятно, способствует увеличению эффективности УЗ кавитации.

Можно утверждать, что при применении в аквакультуре, где вода проходит однократную обработку при водоподготовке, использование кавитационных установок оправданно только при совмещении с другими методами дезинфекции. Использование УФ, озонирования или веществ, способных индуцировать образование активных радикалов, существенно улучшает уничтожение микроорганизмов при кратковременной экспозиции.

Рядом авторов также проводились исследования по использованию кавитации для дезинфекции вод различного происхождения. В работе Jyoti и др. (2001) было продемонстрировано, что УЗ кавитация (Horn type) вызывает снижение КОЭ/мл на 49-85 % (в зависимости от продолжительности иррадиации), в то время как гидродинамическая кавитация с использованием замкнутой системы приводит к снижению численности бактерий на 40-45 % [49]. В других работах [13, 44] было показано, что количество гетеротрофных бактерий морской воды и бактерий воды УЗВ снижается на 50 и 70 % в течение 6 минутной экспозиции при действии НЧУЗ.

Заключение. Проведенный обзор зарубежной литературы показал перспективность использования ультразвука, в том числе и совместного с ультрафиолетовым излучением, для снижения количества циркулирующей микрофлоры в водной среде в установках замкнутого водоснабжения. Необходимо отметить, что самостоятельное применение УФ излучения снижает общее количество микрофлоры, однако добавление в систему водоподготовки ультразвуковой кавитации приводит к гибели условно-патогенной флоры, которая может вызывать бактериальные болезни рыб. Таким образом, возможно совместное использование ультразвуковой кавитации и ультрафиолетового излучения для поддержания качества рециркулируемой воды в установках замкнутого водоснабжения, для снижения микробиологической обсемененности.

Conclusions. A review of foreign literature has shown the prospects of using ultrasound, including combined with ultraviolet radiation, to reduce the amount of circulating microflora in the aquatic environment in closed-circuit water supply installations. It should be noted that the independent use of UV radiation reduces the total amount of microflora, however, the addition of ultrasonic cavitation to the water treatment system leads to the death of opportunistic flora, which can cause bacterial diseases of fish. Thus, it is possible to combine ultrasonic cavitation and ultraviolet radiation to maintain the quality of recycled water in closed-circuit water supply installations, to reduce microbiological contamination.

Библиографический список

1. The State of the World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2020.
2. Naylor R. L., Hardy R. W., Buschmann A. H., Bush S. R., Cao L., Klinger D. H., Troell M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 2021. № 591(7851). Pp. 551-563.
3. Комлацкий В. И., Комлацкий Г. В., Величко В. А. Рыбоводство: учебник для вузов. С-Пб.: Лань, 2021. 200 с.
4. Brahmi M., Hassen A. Ultraviolet radiation for microorganism inactivation in wastewater. *Journal of Environmental Protection*. 2012. https://www.academia.edu/27631796/Ultraviolet_Radiation_for_Microorganism_Inactivation_in_Wastewater
5. Губейдуллин Х. Х., Шигапов И. И., Кологреев В. А., Чумакова Н. В. Очистка сточных вод ультрафиолетом и ультразвуком в животноводческих комплексах. *Аграрная наука*. 2012. № 11. С. 31.
6. Tango M. S., Gagnon G. A. Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquacultural Engineering*, 2003. № 29 (3-4). Pp. 125-137.
7. Pushpalatha M., Krishna B. M. Electro-Fenton Process for Wastewater Treatment-A Review. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*. 2017. № 3 (1). Pp. 439-451.
8. Василяк Л. М. Применение ультразвука в системах для обеззараживания воды. *Электронная обработка материалов*. 2010. № 5 (265). С. 106-111.
9. Cheremisinoff N. P. Chemical and nonchemical disinfection. Ann Arbor Science Publishers, 1981. 172 с.
10. Goldstein S., Rabani J. Mechanism of nitrite formation by nitrate photolysis in aqueous solutions: the role of peroxyxynitrite, nitrogen dioxide, and hydroxyl radical. *Journal of the American Chemical Society*. 2007. No 129 (34). Pp. 10597-10601.
11. Gullian M., Espinosa-Faller F. J., Núñez A., López-Barahona N. Effect of turbidity on the ultraviolet disinfection performance in recirculating aquaculture systems with low water exchange. *Aquaculture Research*. 2012. No 43 (4). Pp. 595-606.
12. Kasai H., Yoshimizu M., Ezura Y. Disinfection of water for aquaculture. *Fisheries science*, 2002. V. 68. Pp. 821-824.
13. Svendsen E., Dahle S. W., Hagemann A., Birkevold J., Delacroix S., Andersen A. B. Effect of ultrasonic cavitation on small and large organisms for water disinfection during fish transport. *Aquaculture Research*, 2018. No 49 (3). Pp. 1166-1175.
14. De Oliveira E. F., Tosati J. V., Tikekar R. V., Monteiro A. R., Nitin N. Antimicrobial activity of curcumin in combination with light against *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria innocua*: Applications for fresh produce sanitation. *Postharvest Biology and Technology*. 2018. No 137. Pp. 86-94.
15. Von Gunten U. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. *Water research*. 2003. No 37 (7). Pp. 1469-1487.
16. Spiliotopoulou A., Rojas-Tirado P., Chhetri R. K., Kaarsholm K. M., Martin R., Pedersen P. B., Andersen H. R. Ozonation control and effects of ozone on water quality in recirculating aquaculture systems. *Water research*. 2018. No 133. Pp. 289-298.
17. Powell A., Scolding J. W. Direct application of ozone in aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*. 2018. No 10 (2). Pp. 424-438.
18. Amy G. Survey on bromide in drinking water and impacts on DBP formation. Denver, American Water Works Research Foundation Report. 1994. 90 p.
19. Della Rocca C., Belgioirno V., Meriç S. Cotton-supported heterotrophic denitrification of nitrate-rich drinking water with a sand filtration post-treatment. *Water Sa*, 2005. No 31 (2). Pp. 229-236.
20. Gogate P. R., Kabadi A. M. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology. *Biochemical Engineering Journal*. 2009. No 44 (1). Pp. 60-72.
21. Hess-Erga O., Attramadal K. J. K., Vadstein O. Biotic and abiotic particles protect marine 585 heterotrophic bacteria during UV and ozone disinfection. *Aquatic Biology*. 2008. No 4. Pp. 147-154.
22. Narkis N., Armon R., Offer R., Orshansky F., Friedland E. Effect of suspended solids on wastewater disinfection efficiency by chlorine dioxide. *Water Research*. 1995. No 29 (1). Pp. 227-236.
23. Tan W. K., Cheah S. C., Parthasarathy S., Rajesh R. P., Pang C. H., Manickam S. Fish pond water treatment using ultrasonic cavitation and advanced oxidation processes. *Chemosphere*. 2021. V. 274. 129702.

24. Mason T. J., Joyce E. Sonication used as a biocide. A review: Ultrasound a greener alternative to chemical biocides? *Chemistry Today*. 2008. V. 26 (6).
25. Doulah M. S. Mechanism of disintegration of biological cells in ultrasonic cavitation. *Biotechnology and bio-engineering*. 1977. No 19 (5). Pp. 649-660.
26. Hoffmann M. R., Hua I., Höchemer R. Application of ultrasonic irradiation for the degradation of chemical contaminants in water. *Ultrasonics Sonochemistry*. 1996. No 3 (3). Pp. 163-172.
27. De Castro M. L., Priego-Capote F. Ultrasound-assisted crystallization (sonocrystallization). *Ultrasonics sonochemistry*, 2007. No 14 (6). Pp. 717-724.
28. Kentish S., Wooster T. J., Ashokkumar M., Balachandran S., Mawson R., Simons L. The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2008. No 9 (2). Pp. 170-175.
29. Alupului A., Lavric V. Ultrasound extraction of active principles with hypoglycaemic activity from medicinal plants. *Chem. Eng. Transact*, 2008. No 14. Pp. 83-90.
30. Gogate P. R., Tatake P. A., Kanthale P. M., Pandit A. B. Mapping of sonochemical reactors: review, analysis, and experimental verification. *AIChE Journal*. 2002. No 48 (7). Pp. 1542-1560.
31. Izadifar Z., Babyn P., Chapman D. Ultrasound cavitation/microbubble detection and medical applications. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2019. No 39 (3). Pp. 259-276.
32. Doubrovski V. A., Dvoretzki K. N. Ultrasonic wave action upon the red blood cell agglutination in vitro. *Ultrasound in medicine & biology*. 2000. No 26 (4). Pp. 655-659.
33. Shirgaonkar I. Z., Lothe R. R., Pandit A. B. Comments on the mechanism of microbial cell disruption in high-pressure and high-speed devices. *Biotechnology Progress*. 1998. No 14 (4). Pp. 657-660.
34. Kumar R., Yadav N., Rawat L., Goyal M. K. Effect of two waves of ultrasonic on waste water treatment. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*. 2014.
35. Naddeo V., Belgiorno V., Napoli R. M. Behaviour of natural organic matter during ultrasonic irradiation. *Desalination*. 2007. No 210 (1-3). Pp. 175-182.
36. Doosti M. R., Kargar R., Sayadi M. H. Water treatment using ultrasonic assistance: A review. *Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences*. 2012. No 2 (2). P. 96.
37. Phull S. S., Newman A. P., Lorimer J. P., Pollet B., Mason T. J. The development and evaluation of ultrasound in the biocidal treatment of water. *Ultrasonics sonochemistry*. 1997. No 4 (2). Pp. 157-164.
38. Shi H. X., Qu J. H., Liu H. J., Mu Y. L., Xiao K. T., Wang L. Effect of ultrasonic irradiation on the coagulation and inactivation of *Microcystis*. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*. 2008. No 57 (2). Pp. 101-108.
39. Padoley K. V., Saharan V. K., Mudliar S. N., Pandey R. A., Pandit A. B. Cavitationally induced biodegradability enhancement of a distillery wastewater. *Journal of hazardous materials*. 2012. No 219. Pp. 69-74.
40. Apfel R. E. Acoustic cavitation. *Methods in experimental physics*. New York: Academic Press, 1981. V. 19. Pp. 356-413.
41. Patil M. N., Pandit A. B. Cavitation—a novel technique for making stable nano-suspensions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2007. No 14 (5). Pp. 519-530.
42. Riesz P., Kondo T. Free radical formation induced by ultrasound and its biological implications. *Free Radical Biology and Medicine*. 1992. No 13 (3). Pp. 247-270.
43. Викулина В. Б., Викулин П. Д. Очистка воды коагуляцией под действием ультразвукового поля. *Строительство: наука и образование*. 2016. № 1. С. 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-vody-koagulyatsiyey-pod-deystviem-ultrazvukovogo-polya>
44. Nam-Koong H., Schroeder J. P., Petrick G., Schulz C. Preliminary test of ultrasonically disinfection efficacy towards selected aquaculture pathogens. *Aquaculture*. 2020. V. 515. 734592.
45. Earnshaw R. G., Appleyard J., Hurst R. M. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *International journal of food microbiology*. 1995. No 28 (2). Pp. 197-219.
46. Mason T. J., Lorimer J. P. *Applied sonochemistry: the uses of power ultrasound in chemistry and processing*. Weinheim: Wiley-Vch. 2002. 303 p.
47. Агранат Б. А., Кириллов О. Д., Преображенский Н. А., Хавский Н. Н. *Ультразвук в гидрометаллургии*. М.: Металлургия, 1969. 303 с.
48. Gogate P. R., Pandit A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in environmental research*. 2004. No 8 (3-4). Pp. 501-551.
49. Jyoti K. K., Pandit A. B. Hybrid cavitation methods for water disinfection: simultaneous use of chemicals with cavitation. *Ultrasonics sonochemistry*. 2003. No 10 (4-5). Pp. 255-264.
50. Karamah E. F., Sunarko I. Disinfection of bacteria *Escherichia coli* using hydrodynamic cavitation. *International Journal of Technology*. 2013. No 4 (3). Pp. 209-216.
51. Laborde J. L., Bouyer C., Caltagirone J. P., Gérard A. Acoustic cavitation field prediction at low and high frequency ultrasounds. *Ultrasonics*. 1998. No 36 (1-5). Pp. 581-587.
52. Portenlänger G., Heusinger H. The influence of frequency on the mechanical and radical effects for the ultrasonic degradation of dextrans. *Ultrasonics Sonochemistry*. 1997. No 4 (2). Pp. 127-130.
53. Hua I., Hoffmann M. R. Optimization of ultrasonic irradiation as an advanced oxidation technology. *Environmental Science & Technology*. 1997. No 31 (8). Pp. 2237-2243.
54. Harvey E. N., Loomis A. L. The destruction of luminous bacteria by high frequency sound waves. *Journal of bacteriology*. 1929. No 17 (5). Pp. 373-376.
55. Dehghani M. H. Effectiveness of ultrasound on the destruction of *E. coli*. *American journal of environmental sciences*. 2005. No 1 (3). Pp. 187-189.
56. Furuta M., Yamaguchi M., Tsukamoto T., Yim B., Stavarache C. E., Hasiba K., Maeda Y. Inactivation of *Escherichia coli* by ultrasonic irradiation. *Ultrasonics sonochemistry*. 2004. No 11 (2). Pp. 57-60.
57. Duckhouse H., Mason T. J., Phull S. S., Lorimer J. P. The effect of sonication on microbial disinfection using hypochlorite. *Ultrasonics sonochemistry*. 2004. No 11 (3-4). Pp. 173-176.

58. Paleologou A., Marakas H., Xekoukoulotakis N. P., Moya A., Vergara Y., Kalogerakis N., Mantzavinos D. Disinfection of water and wastewater by TiO₂ photocatalysis, sonolysis and UV-C irradiation. *Catalysis Today*. 2007. No 129 (1-2). Pp. 136-142.
59. Neis U., Blume T. Ultrasonic disinfection of wastewater effluents for high-quality reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2003. No 3 (4). Pp. 261-267.
60. Annisha O. D. R., Li Z., Zhou X., Stenay Junior N. M. D., Donde O. O. Efficacy of integrated ultraviolet ultrasonic technologies in the removal of erythromycin-and quinolone-resistant *Escherichia coli* from domestic wastewater through a laboratory-based experiment. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. 2019. No 9 (3). Pp. 571-580.
61. Karamah E. F., Amalia F., Ghaudenson R., Bismo S. Disinfection of *Escherichia coli* Bacteria Using Combination of Ozonation and Hydrodynamic Cavitation Method with Venturi Injector. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2018. No 8 (3). Pp. 811-817.
62. Dadjour M. F., Ogino C., Matsumura S., Shimizu N. Kinetics of disinfection of *Escherichia coli* by catalytic ultrasonic irradiation with TiO₂. *Biochemical Engineering Journal*. 2005. No 25 (3). Pp. 243-248.

References

1. The State of the World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2020.
2. Naylor R. L., Hardy R. W., Buschmann A. H., Bush S. R., Cao L., Klinger D. H., Troell M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 2021. № 591(7851). Pp. 551-563.
3. Komlatsky V. I., Komlatsky G. V., Velichko V. A. Fish farming: a textbook for universities. St. Petersburg: Lan, 2021. 200 p.
4. Brahmi M., Hassen A. Ultraviolet radiation for microorganism inactivation in wastewater. *Journal of Environmental Protection*. 2012. https://www.academia.edu/27631796/Ultraviolet_Radiation_for_Microorganism_Inactivation_in_Wastewater.
5. Gubeidullin Kh. Kh., Shigapov I. I., Kologreev V. A., Chumakova N. V. Wastewater Treatment by Ultraviolet and Ultrasound in Livestock Complexes. *Agrarian science*. 2012. № 11. P. 31.
6. Tango M. S., Gagnon G. A. Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquacultural Engineering*, 2003. № 29 (3-4). Pp. 125-137.
7. Pushpalatha M., Krishna B. M. Electro-Fenton Process for Wastewater Treatment—A Review. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*. 2017. № 3 (1). Pp. 439-451.
8. Vasilyak L. M. Application of Ultrasound in Water Disinfection Systems. *Electronic processing of materials*. 2010. № 5 (265). Pp. 106-111.
9. Cheremisnoff N. P. Chemical and nonchemical disinfection. Ann Arbor Science Publishers, 1981. 172 c.
10. Goldstein S., Rabani J. Mechanism of nitrite formation by nitrate photolysis in aqueous solutions: the role of peroxynitrite, nitrogen dioxide, and hydroxyl radical. *Journal of the American Chemical Society*. 2007. No 129 (34). Pp. 10597-10601.
11. Gullian M., Espinosa-Faller F. J., Núñez A., López-Barahona N. Effect of turbidity on the ultraviolet disinfection performance in recirculating aquaculture systems with low water exchange. *Aquaculture Research*. 2012. No 43 (4). Pp. 595-606.
12. Kasai H., Yoshimizu M., Ezura Y. Disinfection of water for aquaculture. *Fisheries science*, 2002. V. 68. Pp. 821-824.
13. Svendsen E., Dahle S. W., Hagemann A., Birkevold J., Delacroix S., Andersen A. B. Effect of ultrasonic cavitation on small and large organisms for water disinfection during fish transport. *Aquaculture Research*, 2018. No 49 (3). Pp. 1166-1175.
14. De Oliveira E. F., Tosati J. V., Tikekar R. V., Monteiro A. R., Nitin N. Antimicrobial activity of curcumin in combination with light against *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria innocua*: Applications for fresh produce sanitation. *Postharvest Biology and Technology*. 2018. No 137. Pp. 86-94.
15. Von Gunten U. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. *Water research*. 2003. No 37 (7). Pp. 1469-1487.
16. Spiliotopoulou A., Rojas-Tirado P., Chhetri R. K., Kaarsholm K. M., Martin R., Pedersen P. B., Andersen H. R. Ozonation control and effects of ozone on water quality in recirculating aquaculture systems. *Water research*. 2018. No 133. Pp. 289-298.
17. Powell A., Scolding J. W. Direct application of ozone in aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*. 2018. No 10 (2). Pp. 424-438.
18. Amy G. Survey on bromide in drinking water and impacts on DBP formation. Denver, American Water Works Research Foundation Report. 1994. 90 p.
19. Della Rocca C., Belgioirio V., Meriç S. Cotton-supported heterotrophic denitrification of nitrate-rich drinking water with a sand filtration post-treatment. *Water Sa*, 2005. No 31 (2). Pp. 229-236.
20. Gogate P. R., Kabadi A. M. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology. *Biochemical Engineering Journal*. 2009. No 44 (1). Pp. 60-72.
21. Hess-Erga O., Attramadal K. J. K., Vadstein O. Biotic and abiotic particles protect marine 585 heterotrophic bacteria during UV and ozone disinfection. *Aquatic Biology*. 2008. No 4. Pp. 147-154.
22. Narkis N., Armon R., Offer R., Orshansky F., Friedland E. Effect of suspended solids on wastewater disinfection efficiency by chlorine dioxide. *Water Research*. 1995. No 29 (1). Pp. 227-236.
23. Tan W. K., Cheah S. C., Parthasarathy S., Rajesh R. P., Pang C. H., Manickam S. Fish pond water treatment using ultrasonic cavitation and advanced oxidation processes. *Chemosphere*. 2021. V. 274. 129702.
24. Mason T. J., Joyce E. Sonication used as a biocide. A review: Ultrasound a greener alternative to chemical biocides? *Chemistry Today*. 2008. V. 26 (6).
25. Doulah M. S. Mechanism of disintegration of biological cells in ultrasonic cavitation. *Biotechnology and bio-engineering*. 1977. No 19 (5). Pp. 649-660.

26. Hoffmann M. R., Hua I., Höchemer R. Application of ultrasonic irradiation for the degradation of chemical contaminants in water. *Ultrasonics Sonochemistry*. 1996. No 3 (3). Pp. 163-172.
27. De Castro M. L., Priego-Capote F. Ultrasound-assisted crystallization (sonocrystallization). *Ultrasonics sonochemistry*, 2007. No 14 (6). Pp. 717-724.
28. Kentish S., Wooster T. J., Ashokkumar M., Balachandran S., Mawson R., Simons L. The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2008. No 9 (2). Pp. 170-175.
29. Alupului A., Lavric V. Ultrasound extraction of active principles with hypoglycaemic activity from medicinal plants. *Chem. Eng. Transact*, 2008. No 14. Pp. 83-90.
30. Gogate P. R., Tatake P. A., Kanthale P. M., Pandit A. B. Mapping of sonochemical reactors: review, analysis, and experimental verification. *AIChE Journal*. 2002. No 48 (7). Pp. 1542-1560.
31. Izadifar Z., Babyn P., Chapman D. Ultrasound cavitation/microbubble detection and medical applications. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2019. No 39 (3). Pp. 259-276.
32. Doubrovski V. A., Dvoretzki K. N. Ultrasonic wave action upon the red blood cell agglutination in vitro. *Ultrasonics in medicine & biology*. 2000. No 26 (4). Pp. 655-659.
33. Shirgaonkar I. Z., Lothe R. R., Pandit A. B. Comments on the mechanism of microbial cell disruption in high-pressure and high-speed devices. *Biotechnology Progress*. 1998. No 14 (4). Pp. 657-660.
34. Kumar R., Yadav N., Rawat L., Goyal M. K. Effect of two waves of ultrasonic on waste water treatment. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*. 2014.
35. Naddeo V., Belgiorio V., Napoli R. M. Behaviour of natural organic matter during ultrasonic irradiation. *Desalination*. 2007. No 210 (1-3). Pp. 175-182.
36. Doosti M. R., Kargar R., Sayadi M. H. Water treatment using ultrasonic assistance: A review. *Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences*. 2012. No 2 (2). P. 96.
37. Phull S. S., Newman A. P., Lorimer J. P., Pollet B., Mason T. J. The development and evaluation of ultrasound in the biocidal treatment of water. *Ultrasonics sonochemistry*. 1997. No 4 (2). Pp. 157-164.
38. Shi H. X., Qu J. H., Liu H. J., Mu Y. L., Xiao K. T., Wang L. Effect of ultrasonic irradiation on the coagulation and inactivation of *Microcystis*. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*. 2008. No 57 (2). Pp. 101-108.
39. Padoley K. V., Saharan V. K., Mudliar S. N., Pandey R. A., Pandit A. B. Cavitationally induced biodegradability enhancement of a distillery wastewater. *Journal of hazardous materials*. 2012. No 219. Pp. 69-74.
40. Apfel R. E. Acoustic cavitation. *Methods in experimental physics*. New York: Academic Press, 1981. V. 19. Pp. 356-413.
41. Patil M. N., Pandit A. B. Cavitation—a novel technique for making stable nano-suspensions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2007. No 14 (5). Pp. 519-530.
42. Riesz P., Kondo T. Free radical formation induced by ultrasound and its biological implications. *Free Radical Biology and Medicine*. 1992. No 13 (3). Pp. 247-270.
43. Vikulina V. B., Vikulin P. D. Water Purification by Coagulation Under the Influence of an Ultrasonic Field. *Construction: science and education*. 2016. № 1. P. 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-vody-koagulyatsiyey-pod-deystviem-ultrazvukovogo-polya>.
44. Nam-Koong H., Schroeder J. P., Petrick G., Schulz C. Preliminary test of ultrasonically disinfection efficacy towards selected aquaculture pathogens. *Aquaculture*. 2020. V. 515. 734592.
45. Earnshaw R. G., Appleyard J., Hurst R. M. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *International journal of food microbiology*. 1995. No 28 (2). Pp. 197-219.
46. Mason T. J., Lorimer J. P. *Applied sonochemistry: the uses of power ultrasound in chemistry and processing*. Weinheim: Wiley-Vch. 2002. 303 p.
47. Agranat B. A., Kirillov O. D., Preobrazhensky N. A., Khavsky N. N. *Ultrasound in hydrometallurgy*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969. 303 p.
48. Gogate P. R., Pandit A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in environmental research*. 2004. No 8 (3-4). Pp. 501-551.
49. Jyoti K. K., Pandit A. B. Hybrid cavitation methods for water disinfection: simultaneous use of chemicals with cavitation. *Ultrasonics sonochemistry*. 2003. No 10 (4-5). Pp. 255-264.
50. Karamah E. F., Sunarko I. Disinfection of bacteria *Escherichia coli* using hydrodynamic cavitation. *International Journal of Technology*. 2013. No 4 (3). Pp. 209-216.
51. Laborde J. L., Bouyer C., Caltagirone J. P., Gérard A. Acoustic cavitation field prediction at low and high frequency ultrasounds. *Ultrasonics*. 1998. No 36 (1-5). Pp. 581-587.
52. Portenlänger G., Heusinger H. The influence of frequency on the mechanical and radical effects for the ultrasonic degradation of dextrans. *Ultrasonics Sonochemistry*. 1997. No 4 (2). Pp. 127-130.
53. Hua I., Hoffmann M. R. Optimization of ultrasonic irradiation as an advanced oxidation technology. *Environmental Science & Technology*. 1997. No 31 (8). Pp. 2237-2243.
54. Harvey E. N., Loomis A. L. The destruction of luminous bacteria by high frequency sound waves. *Journal of bacteriology*. 1929. No 17 (5). Pp. 373-376.
55. Dehghani M. H. Effectiveness of ultrasound on the destruction of *E. coli*. *American journal of environmental sciences*. 2005. No 1 (3). Pp. 187-189.
56. Furuta M., Yamaguchi M., Tsukamoto T., Yim B., Stavarache C. E., Hasiba K., Maeda Y. Inactivation of *Escherichia coli* by ultrasonic irradiation. *Ultrasonics sonochemistry*. 2004. No 11 (2). Pp. 57-60.
57. Duckhouse H., Mason T. J., Phull S. S., Lorimer J. P. The effect of sonication on microbial disinfection using hypochlorite. *Ultrasonics sonochemistry*. 2004. No 11 (3-4). Pp. 173-176.
58. Paleologou A., Marakas H., Xekoukoulotakis N. P., Moya A., Vergara Y., Kalogerakis N., Mantzavinos D. Disinfection of water and wastewater by TiO₂ photocatalysis, sonolysis and UV-C irradiation. *Catalysis Today*. 2007. No 129 (1-2). Pp. 136-142.
59. Neis U., Blume T. Ultrasonic disinfection of wastewater effluents for high-quality reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2003. No 3 (4). Pp. 261-267.

60. Annisha O. D. R., Li Z., Zhou X., Stenay Junior N. M. D., Donde O. O. Efficacy of integrated ultraviolet ultrasonic technologies in the removal of erythromycin- and quinolone-resistant *Escherichia coli* from domestic wastewater through a laboratory-based experiment. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. 2019. No 9 (3). Pp. 571-580.

61. Karamah E. F., Amalia F., Ghaudenson R., Bismo S. Disinfection of *Escherichia coli* Bacteria Using Combination of Ozonation and Hydrodynamic Cavitation Method with Venturi Injector. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2018. No 8 (3). Pp. 811-817.

62. Dadjour M. F., Ogino C., Matsumura S., Shimizu N. Kinetics of disinfection of *Escherichia coli* by catalytic ultrasonic irradiation with TiO₂. *Biochemical Engineering Journal*. 2005. No 25 (3). Pp. 243-248.

Информация об авторах

Климов Виктор Александрович, кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73), e-mail: v.klimov@mgut.ru

Кочетков Никита Ильич, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73), e-mail: samatrixs@gmail.com

Горбунов Александр Вячеславович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73), e-mail: akvabiotex@rambler.ru

Махов Сергей Михайлович, аспирант, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73), e-mail: MakhovSM@edu.mos.ru

Иванов Сергей Сергеевич, ведущий инженер, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73).

Кравченко Юрий Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

Authors' Information

Klimov Viktor Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Researcher, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (Russian Federation, 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73), e-mail: v.klimov@mgut.ru

Kochetkov Nikita Ilyich, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (Russian Federation, 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73), e-mail: samatrixs@gmail.com

Gorbunov Aleksander Vyacheslavovich, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (Russian Federation, 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73), e-mail: akvabiotex@rambler.ru

Makhov Sergey Mikhailovich, Postgraduate Student, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (Russian Federation, 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73), e-mail: MakhovSM@edu.mos.ru

Ivanov Sergey Sergeevich, Leading Engineer, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (Russian Federation, 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73).

Kravchenko Yuriy Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-37

THE INFLUENCE OF LABOR PROCESS FACTORS ON THE HEALTH OF AGRICULTURAL WORKERS

¹Kontareva V. Yu., ²Belik S. N., ²Morgul E. V., ³Razin A. S.

¹Don State Agrarian University
Persianovsky, Rostov Region, Russian Federation

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

³Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: superbelik@mail.ru

Received 21.03.2025

Submitted 18.04.2025

Abstract

Introduction. More than 35 % of the working population fulfill their labor duties in conditions far from optimal and even permissible working conditions in accordance with regulatory documents on labor protection. Non-conforming working conditions determine occupational risk and cause violations of the health of workers. In the structure of occupational pathology of the working population of our country, diseases associated with physical overload and functional overvoltage of individual organs and systems occupy one of the priority places. **Object.** The object of research is working conditions by factors of severity and tension of labor process of categories of workers of different professional orientation. **Materials and methods.** The work studied, analyzed and summarized empirical data of statistical data of the Federal State Statistics Service for 2018-2023, as well as the works of domestic and foreign authors. **Results and conclusions.** It is established that the most common factor of the labor process is severity, which is the cause of the occurrence and development of diseases of the musculoskeletal system in workers of various industries, measures to reduce the risk of development of deviations in the state of health of workers are proposed.

Keywords: factors of the labor process, working conditions, hazardous working conditions, measures to improve working conditions.

Citation. Kontareva V. Yu., Belik S. N., Morgul E. V., Razin A. S. The influence of labor process factors on the health of agricultural workers. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 335-348 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-37.

The author's contribution. The authors of this study was directly involved in the planning, execution or analysis of this study. The authors of this article has read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declares that there is no conflict of interest.

УДК 331.45

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА НА ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ АПК

¹Контарева В. Ю., кандидат технических наук, доцент

²Белик С. Н., кандидат медицинских наук, доцент

²Моргуль Е. В., кандидат биологических наук, доцент

³Разин А. С., кандидат философских наук, ведущий научный сотрудник

¹ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»

п. Персиановский, Ростовская область, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет»

г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

³Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Более 35 % работающего населения выполняет свои трудовые обязанности в условиях далеких от оптимальных и даже допустимых условий труда в соответствии с нормативными документами по охране труда. Несоответствующие нормам условия труда определяют профессиональный риск и обуславливают нарушения здоровья работников. В структуре профессиональной патологии работающего населения нашей страны заболевания, связанные с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением отдельных органов и систем, занимают одно из приоритетных мест. **Объект.** Объектом исследований являются условия труда по факторам тяжести и напряженности трудового процесса категорий работников различной профессиональной направленности. **Материалы и методы.** В работе изучены, проанализированы и обобщены эмпирические данные статистических данных Федеральной службы государственной статистики за 2018-2023 годы, а также работы отечественных и зарубежных авторов. **Результаты и выводы.** Установлено, что максимально распространённым фактором трудового процесса является тяжесть, являющаяся причиной возникновения и развития заболеваний, в том числе опорно-двигательного аппарата у работников различных отраслей, предложены меры по снижению риска развития отклонений в состоянии здоровья работников.

Ключевые слова: факторы трудового процесса, условия труда, опасные условия труда, мероприятия по улучшению условий труда.

Цитирование. Контарева В. Ю., Белик С. Н., Моргуль Е. В., Разин А. С. Влияние факторов трудового процесса на здоровье работников АПК. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 335-348. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-37.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. К факторам, определяющим работоспособность и здоровье работающего населения, следует отнести уровень напряжения физиологических функций организма при выполнении производственной (трудовой) деятельности. Продолжительное и интенсивное воздействие факторов трудового процесса может привести к развитию напряжения и перенапряжения, являющихся причиной не только снижения эффективности труда, но и формирования заболеваний, в том числе профессионально-обусловленных и профессиональных. В структуре профессиональной патологии работающего населения нашей страны заболевания, связанные с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением отдельных органов и систем, занимают второе место в 2022 году (20,7 %), что превышает значение данного показателя в 2021 году (16,74 %) в 1,2 раз [1]. Функциональное напряжение классифицируют как энергетическое, требующее определённых мышечных усилий при физическом труде (оценивается тяжестью труда), и как эмоциональное, связанное с работой мозга, центральной нервной системы при умственном труде (характеризуется напряжённостью труда).

Помимо наиболее изученных факторов производственной среды: химических, физических и биологических, условия труда формируют и факторы трудового процесса – тяжесть и напряженность (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы трудового процесса и показатели (критерии) их определяющие
(составлено авторами)

Table 1 – Labor process factors and indicators (criteria) determining them (compiled by authors)

Фактор трудового процесса / Labor process factor	Характеристика / Characteristic	Показатели / Indicators
Тяжесть / Severity	показатель физической нагрузки на опорно-двигательный аппарат и на функциональные системы организма / an indicator of physical load on the musculoskeletal system and on the functional systems of the body	физическая динамическая нагрузка; масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную; стереотипные рабочие движения; статическая нагрузка; рабочая поза; наклоны корпуса тела работника; перемещение в пространстве / physical dynamic load; weight of the load lifted and moved manually; stereotypical labour movements; dead load; working posture; bending the body of the employee; moving in space
Напряженность / Tension	показатели сенсорной нагрузки на центральную нервную систему и органы чувств / indicators of sensory load on the central nervous system and sensory organs	длительность сосредоточенного наблюдения; плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в единицу времени; число производственных объектов одновременного наблюдения; нагрузка на слуховой анализатор; активное наблюдение за ходом производственного процесса; работа с оптическими приборами; нагрузка на голосовой аппарат / duration of concentrated observation; density of signals (light, sound) and messages per unit of time; the number of production facilities for simultaneous observation; load on the auditory analyzer; active monitoring of the production process; work with optical devices; load on the voice apparatus

В современной действительности более 35 % работающего населения выполняют свои трудовые обязанности в условиях далеких от оптимальных и даже допустимых условий труда в соответствии с нормативными документами по охране труда (рисунок 1) [2]. Несоответствующие нормам условия труда определяют профессиональный риск и обуславливают нарушения здоровья работников.

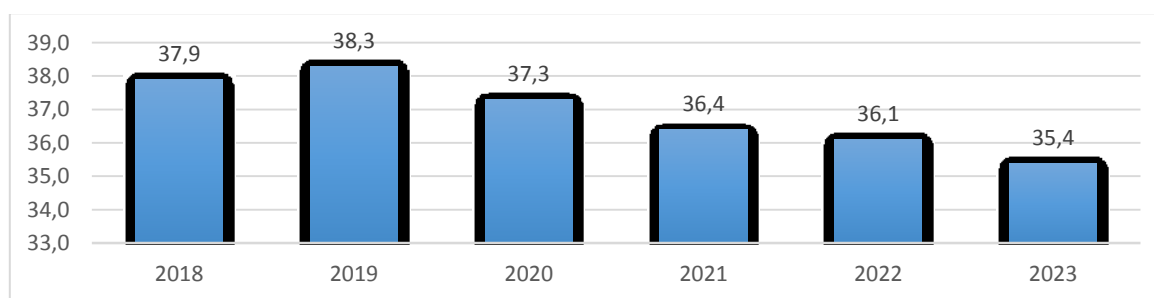


Рисунок 1 – Доля численности работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда в РФ (в %) в 2018-2023 годах (составлено авторами)

Figure 1 – Share of the number of employees working in harmful and (or) hazardous labor conditions in the Russian Federation (in %) in 2018-2023 (compiled by the authors)

Цель исследования. Целью данной работы явилось изучение статистических материалов относительно доли рабочего контингента, выполняющего трудовые функции под воздействием факторов тяжести и напряженности, а также изучение влияния данных факторов на здоровье работников.

Материалы и методы. Эмпирической основой послужили исходные данные Федеральной службы государственной статистики в отношении численных и долевых показателей работающих групп населения в условиях тяжести и напряженности трудового процес-

са, а также изданные работы отечественных и иностранных исследователей касательно возможных заболеваний и последствий для здоровья рассматриваемых групп работников. Теоретические исследования реализованы путем изучения, анализа и обобщения эмпирических данных.

Результаты и обсуждения. Следует отметить, что наиболее распространённым опасным и вредным фактором является тяжесть трудового процесса. Доля задействованных в работах под воздействием данного фактора (от 19,5 до 20,3 % в зависимости от года наблюдения) даже превышает долю работающих под повсеместно-распространёнными акустическими факторами (от 19,1 до 19,5 % в зависимости от года наблюдения). К тому же под воздействием еще одного фактора трудового процесса – напряженности – находятся не менее 3,7-4,8 % работающих (рисунок 2) [2].

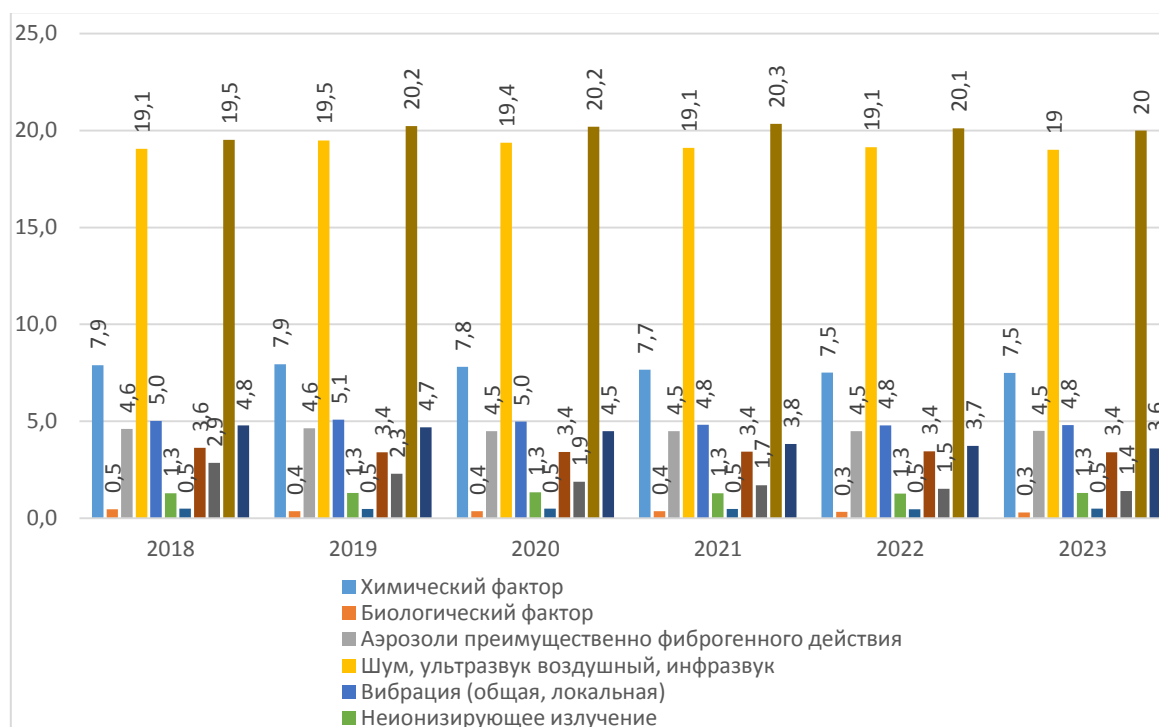


Рисунок 2 – Доля численности работников, занятых на работах с опасными и вредными факторами в РФ (в %) в 2018-2023 годах (составлено авторами)

Figure 2 – Share of the number of employees engaged in work with hazardous and harmful factors in the Russian Federation (in %) in 2018-2023 (compiled by authors)

Конечно, доля работников, выполняющих трудовые функции под воздействием факторов трудового процесса, разнится в зависимости от особенностей и условий производственной среды и трудового процесса, технологических операций, степени механизации и автоматизации производства, оснащённости рабочих мест и т.д., которые зависят в том числе и от вида деятельности предприятия (рисунок 3) [2].

Наиболее весомый процент работников, занимающихся добычей угля, нефти, природного газа, металлических руд и др. полезных ископаемых, выполняет работы под воздействием тяжести (от 34,7 до 35,8 % в зависимости от года наблюдения); второе место по данному критерию занимают работники строительной сферы (от 22,5 до 24,7 %); примерно равные доли – на обрабатывающих производствах (пищевых продуктов, напитков, одежды, кожи, бумаги химических продуктов, металлов и т.д.) (от 21,1 до 22,6 %), на производствах по забору, очистке воды, сбору и обработке сточных вод и отходов (от 19,3 до 21,3 %), а также предприятиях сельхозсферы (от 18,1 до 19,3 %). Предприятиями с наименьшей долей занятых на тяжелой работе являются организации, занимающиеся деятельностью в сфере информации и связи: издательской, в области теле- и радиовещания, информационных технологий и т.п. Труд работников в этих сферах больше связан с воздействием факторов напряжённости труда.

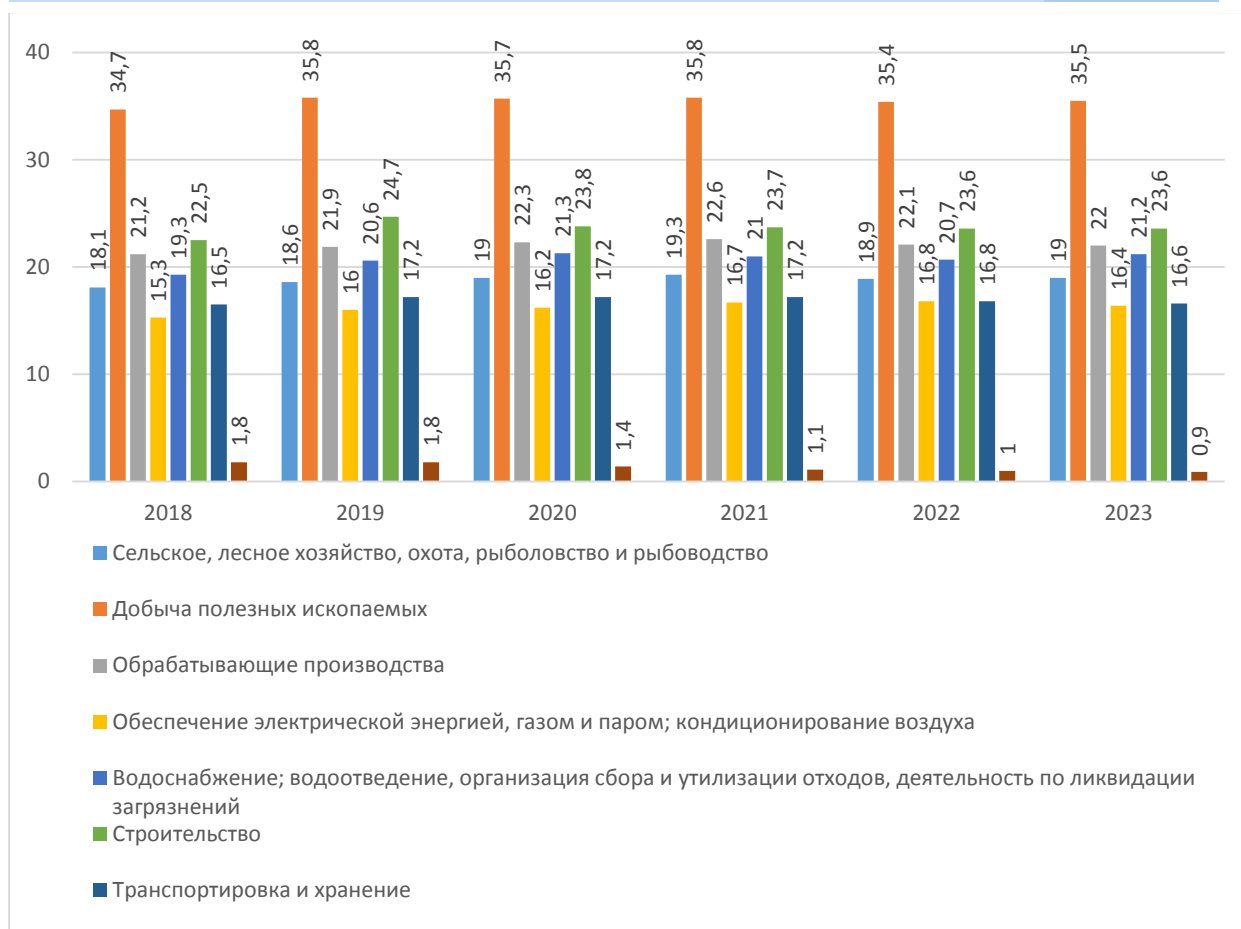


Рисунок 3 – Доля численности работников предприятий по различным видам деятельности, занятых на работах под воздействием тяжести трудового процесса в РФ (в %) в 2018-2023 годах (составлено авторами)

Figure 3 – Share of the number of employees of enterprises by different types of activities, employed in work under the influence of labor severity in the Russian Federation (in %) in 2018-2023 (compiled by the authors)

Рассмотрим частные примеры причин и последствий влияния тяжести и напряжённости трудового процесса на состояние здоровья работников, выполняющих свои трудовые функции на предприятиях с вышеприведенными видами деятельности.

При добыче угля по показателю тяжесть трудового процесса преобладают классы условий труда 3.1, 3.2, 3.3 (вредные классы 1, 2, 3 степени). Такие классы обусловлены в данном случае, в первую очередь, подъемом и перемещением сверхнормативных масс грузов вручную, вынужденными наклонами корпуса под углом более 30° и перемещениями в пространстве; во-вторых, необходимостью эксплуатации в процессе работы значимого количества переносных контрольно-измерительных приборов, узлов оборудования, материалов и инструментов, применяемых непосредственно работником; в-третьих, перемещениями в пространстве, обусловленными технологическим процессом. Такие показатели тяжести трудового процесса становятся первостепенной причиной развития заболеваний опорно-двигательного аппарата [3]. Как правило, патологические эффекты в верхних и/или нижних конечностях вызывают такие эргономические процессы, как буровзрывные работы, резка угля, транспортировка, опалубка и крепление, погрузка и разгрузка [4]. Артрозы обусловлены статической нагрузкой, толчками, сотрясениями, передаваемыми на хрящи суставов, в результате чего хрящи теряют свою эластичность. Остеонекрозы развиваются при травматизации определенных костей вследствие перенапряжения определенных групп мышц. Плоскостопие, результат длительной работы на ногах, приводит к нарушению амортизационной функции стопы, к болезненным изменениям в позвоночнике и скелете в целом. Периартрит плечевого сустава сопряжен с прямой травмой или хронической микро-

травматизацией сустава и периартикулярного аппарата с последующим формированием рефлекторной анталгической контрактуры [5]. Бурсит – воспаление слизистых (синовиальных) сумок преимущественно в плечевых, в локтевых, коленных, реже – тазобедренных суставах и в синовиальной сумке между ахилловым сухожилием и пяточной костью. Развивается при работе с опорой на локти и колени [6]. Вибрационная болезнь возникает от воздействия локальной вибрации, охлаждения и физического перенапряжения, в виде вегетативно-сенсорной полиневропатии, с разной степенью выраженности сенсорных, периферических нейрососудистых, мышечных (миодистонических или миодистрофических), периартикулярных и костноуставных изменений.

Следует отметить высокую напряжённость трудового процесса шахтёров (3.2). Рабочая среда угольной шахты уникальна: подземное рабочее пространство небольшое, отсутствие солнечного света в течение длительных периодов времени, что в сочетании с тяжестью труда и наличием вредных физических и химических факторов, риском для жизни приводит к соматизации страха и развитию психологических и психических расстройств, в результате доля работников шахт с депрессивными симптомами достигает 35,51 %, а с профессиональным выгоранием – 51,14 % [7].

Одной из ведущих профессий при добыче нефти является профессия бурильщика, технологическим оборудованием которого является бурильная установка, а труд по тяжести соответствует классу условий труда 3.2 и характеризуется подъемом и перемещением тяжестей, динамическими и статическими нагрузками с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса; периодически вынужденной рабочей позой. У бурильщиков из патологий, обусловленных тяжестью труда, наиболее распространены заболевания опорно-двигательного аппарата (17,5 %), в числе которых артриты, остеохондрозы, артрозы (25,5 %), и периферической нервной системы: радикулиты, плекситы, полиневриты (30,5 %) [8]. При этом преобладающая локализация поражения наблюдается в поясничном отделе (50,6 %), шее (29,8 %) и плечах (23,4 %) соответственно. Следует отметить, что труд бурильщика сопряжён с высокой напряжённостью (3.2). Установлено, что 26,1 % работающих вахтовым методом и 32,1 % работающих в ночную смену страдают от расстройства циркадных ритмов [9], что приводит к серьезным проблемам со здоровьем, таким как метаболический синдром, злокачественные новообразования, болезни сердечно-сосудистой системы, и психиатрические (психические) проблемы, такие как депрессия и тревожно-депрессивное расстройство. Недавние исследования указывают, что короткая продолжительность или отсутствие ночного сна приводит к хронической усталости и сонливости на рабочем месте (90 %), к бессоннице во время отдыха (30 %) [10].

Исследования, отраженные в публикациях ряда авторов, свидетельствуют о том, что у строительных рабочих развитие профессиональной патологии чаще всего вызывает тяжесть труда, при этом более трети случаев профессиональных патологий относится к классу болезней костно-мышечной системы, причем значимая часть из них радикулопатии [11]. В исследованиях зарубежных авторов установлено, что преобладающими профессиональными болезнями строителей являются заболевания опорно-двигательного аппарата и соединительной ткани, болезни кожи и подкожной клетчатки, легких [12]. Основной причиной нарушений опорно-двигательного аппарата, связанных с работой, среди строителей является перенапряжение и выполнение физически тяжелой работы. Почти 90 % строительных работ требуют ручной обработки материалов, что составляет примерно половину рабочего времени. Работники данной отрасли описывают скелетно-мышечную боль как общую боль, разделенную на боль в шее, плечах и пояснице. Перенапряжение при подъеме и опускании материалов является основной причиной случаев возникновения заболеваний среди строителей; перенапряжение, включающее толкание, вытягивание, удержание, переноску и ловлю материалов, является причиной дополнительных случаев возникновения заболеваний ОДА.

На обрабатывающих предприятиях по производству и переработке пищевых продуктов и напитков у работников отмечены скелетно-мышечные расстройства, связанные с особенностями работы – это нарушения таких структур организма, как мышцы, суставы, сухожилия, связки, нервы или локальная система кровообращения, которые вызываются или усугубляются, прежде всего, выполнением преимущественно повторяющихся ручных работ. К таким работам можно отнести, например, резку, очистку, сортировку, упаковку и т.д. Данные виды деятельности имеют факторы риска развития скелетно-мышечных нарушений, к которым относятся повторение, контактный стресс, сильные сокращения, неудоб-

ные позы, а также длительное пребывание в вынужденной позе [13]. Связанные с работой нарушения опорно-двигательного аппарата и эргономические факторы риска очень распространены среди работников хлебопекарной промышленности, где распространены скелетно-мышечные нарушения, что является последствием применения традиционных технологий в отрасли и отсутствия механизации [14].

На обрабатывающих производствах, например при обработке металлов, в структуре заболеваемости с утратой трудоспособности на втором месте долгое время преобладают болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, причем их количественный показатель растет с каждым годом. Причиной такой ситуации, например при обработке и производстве алюминия, является отсутствие возможности полной автоматизации технологических процессов, в том числе при электролизном производстве алюминия. Следовательно, доля ручного труда остается высокой, повышая показатель тяжести и приводя к вышеуказанным заболеваниям [15].

При реализации видов деятельности сельскохозяйственной направленности основными видами профессиональных групп отрасли животноводства – животноводы, скотниками, доярками – отмечено воздействие показателей тяжести трудового процесса, последствиями которого являются наиболее часто диагностируемые профессиональные заболевания, такие как полинейропатия верхних и нижних конечностей, рефлексорные и компрессионные синдромы шейного и пояснично-крестцового уровней, остеоартрозы с нарушением функции суставов [16].

В растениеводстве тяжесть трудового процесса, например, овощеводов оценивается итоговым классом условий труда 3.2-3.3, формируется за счет выполнения работ вручную и характеризуется статическими мышечными нагрузками и длительным нахождением в положении стоя с перемещениями на незначительные расстояния по закреплённой площади обслуживания овощных культур. Физическая динамическая нагрузка при таком виде работ носит общий характер и реализуется с участием мышц плечевого пояса и рук, корпуса и ног, а также связана с подъёмом и перемещением тяжестей (ящиков и коробок с продукцией) массой 7-12,5 кг на расстояние от 1 до 5 метров; поддержанием неудобных и вынужденных рабочих поз, наклонов корпуса, а также с длительным нахождением в положении стоя и т.д. В структуре общей заболеваемости ранговые места закреплены следующим образом: болезни мочеполовой системы, болезни системы кровообращения (артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца и варикозное расширение вен нижних конечностей и т.д.), костно-мышечной системы и соединительной ткани (дорсопатия различных отделов позвоночника, деформирующий остеоартроз коленных суставов и суставов кистей рук) и болезни органов дыхания [17]. Физические перегрузки и функциональное перенапряжение работников сельского хозяйства приводят к болезням костно-мышечной системы и соединительной ткани (радикулопатия, мышечно-тонические синдромы, миалгия, миофиброз предплечий и т.д.), способствуют возникновению болей в позвоночнике (преимущественно в пояснице, шейном и грудном отделах), провоцируют преждевременную менопаузу и т.д. [18].

Под воздействием напряженности трудового процесса задействована значительная часть сотрудников предприятий, реализующих деятельность сухопутного, водного, воздушного, космического транспорта, складского хозяйства, почтовой и курьерской направленности (от 9,6 до 12,5 %). При реализации других приведенных видов деятельности процент занятых под воздействием напряженности трудового процесса ниже в 3-4 раза, однако полностью не исключён. В сельскохозяйственной отрасли задействовано от 3,7 до 4,8 % работников в условиях напряженности труда, что практически сопоставимо со строительной отраслью (от 3,8 до 4,3 %) и деятельностью по добыче полезных ископаемых (от 3 до 4,1 %). Основными группами профессий, задействованных под воздействием критериев напряженности в рассматриваемых сферах деятельности, являются водители и операторы транспортных средств (рисунок 4).

Постоянно увеличивающаяся плотность дорожного движения, необходимость непрерывного контроля звуковых и световых сигналов на дороге, безостановочно меняющееся число объектов одновременного наблюдения во время перевозки грузов или пассажиров отрицательно сказывается на психофизиологии водителей: ухудшается функциональное состояние, что способствует нарушению режима работы, возрастанию эмоционального напряжения и в результате к утомлению, что может привести не только к развитию заболевания, но и к аварийной ситуации.

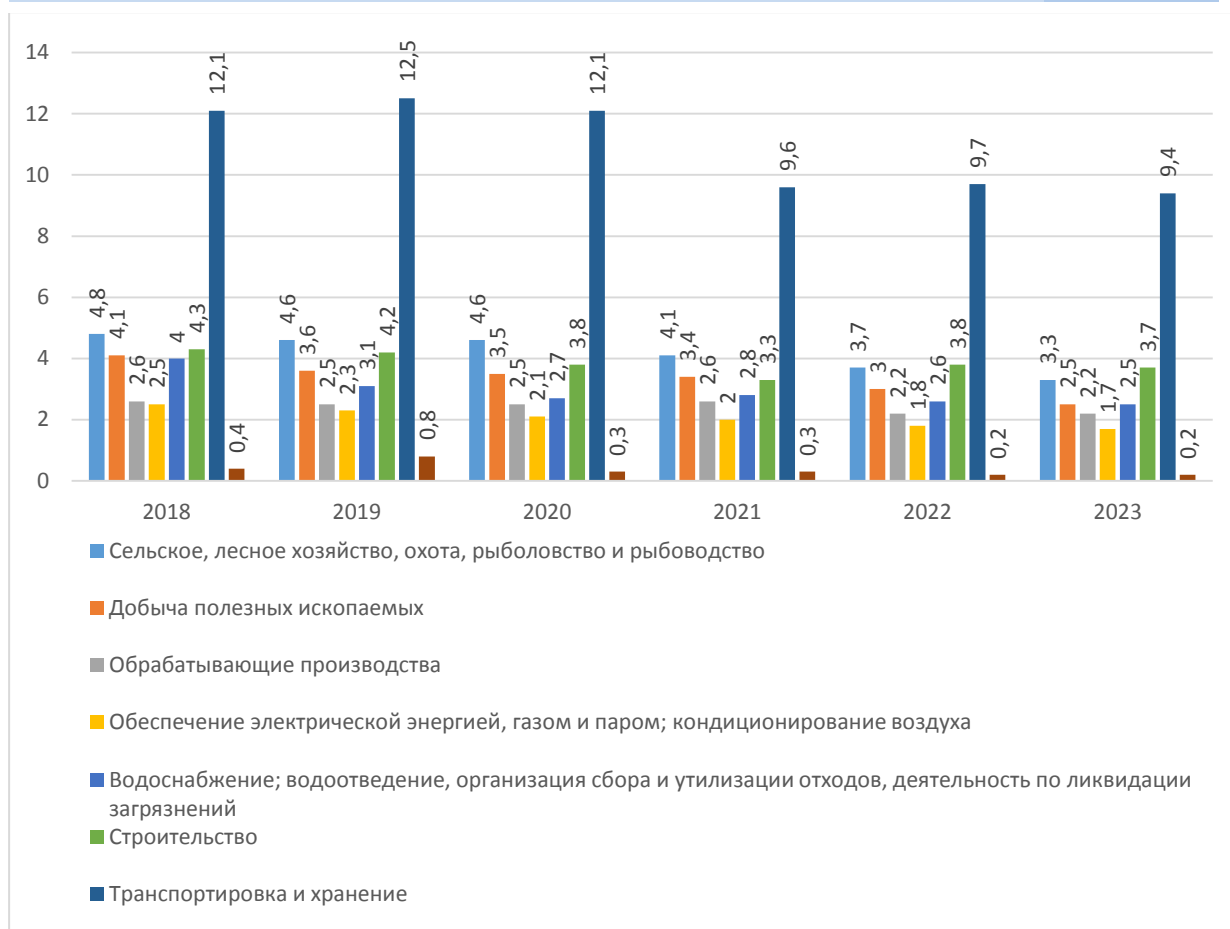


Рисунок 4 – Доля численности работников предприятий по различным видам деятельности, занятых на работах под воздействием напряженности трудового процесса в РФ (в %) в 2018-2023 годах (составлено авторами)

Figure 4 – Share of the number of employees of enterprises in different types of activities, employed in work under the influence of labor tension in the Russian Federation (in %) in 2018-2023 (compiled by the authors)

В сельском хозяйстве напряженность труда операторов транспортных средств создает нагрузку на центральную нервную систему и органы чувств. К факторам напряженности относят интеллектуальные, эмоциональные, сенсорные нагрузки, режим работы. Трудовая деятельность на сельскохозяйственной технике требует значительной концентрации и переключения внимания, а также нагрузки на анализаторные функции. Уровни таких показателей напряженности сенсорных нагрузок, как длительность сосредоточенного наблюдения, плотность сигналов, число производственных объектов одновременного наблюдения, колеблются в зависимости от вида выполняемых работ и марки техники. Оценка фактора напряженности зависит от степени сложности выполнения задания. Чем длительнее сосредоточенное наблюдение, тем выше напряженность. Длительность сосредоточенного наблюдения трактористов и водителей составляет примерно 50-75 %. Работающие на сельскохозяйственной технике подвергаются нагрузке (зависимой от необходимости восприятия сигналов и звуковой информации о работе техники и ходе технологического процесса) на слуховой аппарат. Следует отметить, что повышенные уровни шума мешают их восприятию и, таким образом, способствуют увеличению напряженности труда [19].

Принятие решений, осуществление управляющих действий, эмоционально напряжённая работа (как для водителей транспортных средств, так и для операторов сельхозтехники), требующая повышенной эмоциональной устойчивости, ведь водитель и оператор несут ответственность за жизнь пассажиров, сохранность грузов и качество конечной продукции. Ошибочные действия приводят к повреждению оборудования, остановке технологического процесса и возникновению опасности для личной жизни и других лиц, что повышает напряженность труда, в т.ч. эмоциональное напряжение. Для таких профессий, как водители транспортных средств,

характерна самая высокая степень ответственности за окончательный результат работы, где допущенные ошибки могут привести к остановке транспортного средства, возникновению опасных ситуаций на дороге и стать угрозой для жизни людей (условия труда по данному показателю оцениваются как вредные второй степени).

По всем рассматриваемым видам деятельности в основном под воздействием тяжести и напряженности работы выполняют сотрудники мужского пола, за исключением сельскохозяйственной отрасли, где доли мужчин и женщин, работающих под влиянием факторов трудового процесса близки (таблица 2).

Таблица 2 – Численное и доленое количество занятых на работах под воздействием факторов трудового процесса (по половому признаку) в 2018-2023 годах

(составлено автором по данным Федеральной службы государственной статистики)

Table 2 – Numerical and share number of those employed at work under the influence of labor process factors (by gender) in 2018-2023 (compiled by the authors according to the Federal State Statistics Service)

Период / Period	Численность работников, чел. / Number of employees, persons		Занятых (чел./%) под воздействием / Employed (persons/%) under the influence of			
			тяжести трудового процесса / severity of labor		напряженности трудового процесса / labor intensity	
	женщин / women	мужчин / men	женщин / women	мужчин / men	женщин / women	мужчин / men
1	2	3	4	5	6	7
Всего по стране по всем видам экономической деятельности / Total for the country by all types of economic activities						
2018	4313715	8553774	451766 / 10,5	2058625 / 24,1	91396 / 2,1	523558 / 6,1
2019	4275577	8600796	457153 / 10,7	2148217 / 25,0	91675 / 2,1	513008 / 6,0
2020	4298391	8673188	450070 / 10,5	2169865 / 25,0	86441 / 2,0	496143 / 5,7
2021	4299411	8728221	450525 / 10,5	2199828 / 25,2	82111 / 1,9	416076 / 4,8
2022	4652102	10095265	493123 / 10,6	4229637 / 25,3	88389 / 1,9	494668 / 4,9
2023	4418070	9133677	442206 / 10,0	2267726 / 24,8	79607 / 1,8	404796 / 4,4
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство / Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming						
2018	342316	622062	58924 / 17,2	115712 / 18,6	7575 / 2,2	38385 / 6,2
2019	342532	623790	60781 / 17,7	119231 / 19,1	7303 / 2,1	36710 / 5,9
2020	325955	602462	56659 / 17,4	120064 / 19,9	7015 / 2,2	35371 / 5,9
2021	312653	578501	55283 / 17,7	116766 / 20,2	5667 / 1,8	30969 / 5,4
2022	355813	698227	63335 / 17,8	141740 / 20,3	6760 / 1,9	38402 / 5,5
2023	298055	566667	50653 / 17,0	113488 / 20,0	3559 / 1,2	24558 / 4,3
Добыча полезных ископаемых / Mineral extraction						
2018	176667	768660	25799 / 14,6	302190 / 39,3	3554 / 2,0	34953 / 4,5
2019	177407	800017	26246 / 14,8	323752 / 40,5	3437 / 1,9	31782 / 4,0
2020	175206	778730	25973 / 14,8	314942 / 40,4	3345 / 1,9	30211 / 3,9
2021	180142	799778	27639 / 15,3	323307 / 40,4	3669 / 2,0	29617 / 3,7
2022	193295	867420	29767 / 15,4	351305,1 / 40,5	3865 / 2,0	32961 / 3,8
2023	192977	855470	28782 / 14,9	343893 / 40,2	3670 / 1,9	22615 / 2,6
Обрабатывающие производства / Manufacturing industries						
2018	1944796	3181065	272675 / 14,0	815661 / 25,6	40469 / 2,1	94219 / 3,0
2019	1902025	3163082	275019 / 14,5	834771 / 26,4	39537 / 2,1	87043 / 2,8
2020	1889017	3161931	273093 / 14,5	851304 / 26,9	38696 / 2,0	87095 / 2,8
2021	1878416	3183676	273694 / 14,6	869864 / 27,3	36505 / 1,9	80334 / 2,5
2022	2077934	3618688	303378 / 14,6	991521 / 27,4	39481 / 1,9	90467 / 2,5
2023	1978622	3421532	278864 / 14,1	911815 / 26,6	41989 / 2,1	79256 / 2,3
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха / Provision of electricity, gas and steam; air conditioning						
2018	411637	934268	17771 / 4,3	188769 / 20,2	2529 / 0,6	31228 / 3,3
2019	416191	952084	18662 / 4,5	200287 / 21,0	2617 / 0,6	29314 / 3,1
2020	420882	959765	18455 / 4,4	205022 / 21,4	2289 / 0,5	26975 / 2,8
2021	414594	933724	18087 / 4,4	207417 / 22,2	2318 / 0,6	24569 / 2,6
2022	415999	941329	18720 / 4,5	209916 / 22,3	2496 / 0,6	25416 / 2,7
2023	398952	869992	16864 / 4,2	191762 / 22,0	1668 / 0,4	20511 / 2,4

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений / Water supply; wastewater disposal, organization of waste collection and utilization, pollution elimination activities						
2018	131280	269123	13610 / 10,4	63470 / 23,6	2236 / 1,7	13664 / 5,1
2019	121831	250584	12724 / 10,4	63987 / 25,5	1521 / 1,2	10101 / 4,0
2020	126254	261133	13379 / 10,6	69008 / 26,4	1548 / 1,2	8918 / 3,4
2021	124462	262556	13215 / 10,6	67928 / 25,9	1302 / 1,0	9473 / 3,6
2022	134470	292383	14388 / 10,7	76020 / 26,0	1479 / 1,1	10526 / 3,6
2023	128836	271837	13985 / 10,9	70798 / 26,0	1314 / 1,0	8521 / 3,1
Строительство / Building						
2018	137559	796515	9034 / 6,6	201555 / 25,3	1663 / 1,2	38741 / 4,9
2019	134046	793364	9046 / 6,7	219755 / 27,7	1380 / 1,0	37547 / 4,7
2020	136129	828420	8175 / 6,0	221230 / 26,7	1331 / 1,0	35400 / 4,3
2021	146988	875601	8038 / 5,5	234651 / 26,8	1732 / 1,2	31874 / 3,6
2022	194020	1128792	10671 / 5,5	303645 / 26,9	2328 / 1,2	42894 / 3,8
2023	163571	982065	7488 / 4,6	262432 / 26,7	1686 / 1,0	40914 / 4,2
Транспортировка и хранение / Transportation and storage						
2018	881320	1624686	53572 / 6,1	360080 / 22,2	32784 / 3,7	270306 / 16,6
2019	860347	1631206	53410 / 6,2	375121 / 23,0	33875 / 3,9	276935 / 17,0
2020	865343	1638318	53889 / 6,2	377151 / 23,0	31215 / 3,6	270602 / 16,5
2021	852683	1618728	54148 / 6,4	371025 / 22,9	29988 / 3,5	207634 / 12,8
2022	885982	1758774	55817 / 6,3	401001 / 22,8	31895 / 3,6	228641 / 13,0
2023	831863	1633918	45304 / 5,4	365101 / 22,3	24836 / 3,0	207408 / 12,7
Деятельность в области информации и связи / Information and communication activities						
2018	288140	357395	381 / 0,1	11188 / 3,1	586 / 0,2	2062 / 0,6
2019	321198	386669	1265 / 0,4	11313 / 2,9	2005 / 0,6	3576 / 0,9
2020	359605	442429	447 / 0,1	11144 / 2,5	1002 / 0,3	1571 / 0,4
2021	389473	475657	421 / 0,1	8870 / 1,9	930 / 0,2	1606 / 0,3
2022	394589	789652	395 / 0,1	16583 / 2,1	1184 / 0,3	3159 / 0,4
2023	425194	532196	266 / 0,1	8437 / 1,6	885 / 0,2	1013 / 0,2

Выше представленные сведения на рисунках 1-4 и в таблице 2 отражают официальные данные Федеральной службы государственной статистики [2] и свидетельствуют об отсутствии тенденции значимого снижения или увеличения доли работников как мужского, так и женского пола, занятых под воздействием факторов трудового процесса за период с 2018 по 2023 годы. Следует отметить, что рассматриваемые факторы, связанные с физическими усилиями и тяжестью труда, а также психологической напряженностью, коррелируют с проявлениями андропавы, а высокая и повторяющаяся нагрузка – с наступлением менопаузы, что в итоге влияет на репродуктивное здоровье мужчин и женщин.

Согласно законодательным актам долгосрочные и регулярные физические перегрузки, подъем и перемещение тяжестей и функциональное перенапряжение отдельных органов и систем в производственной среде приводят к возникновению и развитию ряда профессиональных заболеваний, в их числе такие заболевания опорно-двигательного аппарата, как артриты, остеохондрозы, артрозы, радикулиты, плекситы, полиневриты, полинейропатии верхних и нижних конечностей, компрессионные мононевропатии, рефлекторные и компрессионные синдромы шейного и пояснично-крестцового отделов позвоночника, болезни мягких тканей, заболевания, связанные со зрительно-напряженными работами (например, близорукость), повреждения репродуктивной системы (опущение и выпадение матки и стенок влагалища) и т.д. Влияние тяжести трудового процесса на состояние здоровья обусловлено наличием биомеханической перегрузки верхних, нижних конечностей и

позвоночника. Существует важная взаимосвязь между положением стоя на работе и заболеванием вен, так как длительное ортостатическое положение тела подразумевает: венозостаз, высокое давление и риски образования тромбов и тромбозов; у стоячих рабочих происходит перепродукция активных форм кислорода с окислением компонентов клеточных мембран, повреждением эндотелия и повышением проницаемости сосудов, при этом возраст и пол являются внепрофессиональными факторами риска.

Наиболее распространённые факторы напряжённости – это психоэмоциональное перенапряжение, обусловленное ответственностью за свою и/или чужую жизнь, сопряжённое с соматизацией страха и развитием психологических и психических расстройств; значительная концентрация и переключение внимания, длительность сосредоточенного наблюдения, плотность сигналов, число производственных объектов одновременного наблюдения колеблются в зависимости от вида выполняемых работ. Для обеспечения круглосуточной работы производств введена различная продолжительность рабочего времени. К ним относятся сменный график, вахтовый график или ненормированный график, предполагающий ненормированный рабочий день, полностью отличающийся от традиционного рабочего времени. Ненормированный рабочий день распространён во многих профессиях, в среднем в развитых странах около 15-30% всех работников имеют вахтовый тип организации труда. Нефиксированный рабочий день может оказывать существенное негативное влияние на многие аспекты здоровья работников, включая физическое, психологическое и психосоциальное здоровье, а также на производительность труда. Например, работники, работающие в ночную смену, имеют повышенный риск развития колоректального рака, сахарного диабета 2 типа, ухудшения иммунной функции и ожирения. Появляется все больше доказательств того, что работники, работающие посменно, связаны с многочисленными неблагоприятными последствиями для здоровья, включая повышенные факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний [20], метаболический синдром и аутоиммунный тиреоидит [13].

Необходимость и целесообразность принятия мер по улучшению условий труда работников, занятых под воздействием факторов трудового процесса, обусловлена влиянием данных факторов на их психологическое и соматическое здоровье. Конечно, при разработке и реализации таких мер следует учитывать нюансы конкретной сферы и вида деятельности, особенностей технологического процесса и производственных факторов, но в общем случае такие мероприятия должны основываться на:

- положениях российского законодательства, международных нормах и стандартах, внутренней политики предприятия в области управления охраной труда;
- организации превентивных мер, в том числе на обучении персонала, обеспечении сотрудников средствами индивидуальной и коллективной защиты, проведении регулярных медицинских осмотров (в том числе предсменных и послесменных), организации санаторно-курортного лечения, осуществлении специальной оценки условий труда и оценки профессиональных рисков, разработке реестров значимых опасностей и недопустимых рисков;
- введении цифровых решений в систему охраны труда и обеспечения безопасности выполнения работ.

Следует уделять внимание профилактике и раннему применению терапевтических мер в связи с высоким риском заболеваемости и инвалидизации от заболеваний, обусловленных тяжестью и напряжённостью труда, так как это позволит снизить высокие социальные издержки, связанные с потерей рабочих дней, оказанием медицинской помощи и остаточной нетрудоспособности. Необходимо повсеместно провести реконструкцию рабочих мест с установкой оборудования, позволяющего механизировать, автоматизировать и роботизировать труд; увеличить количество регламентированных перерывов. Создать базу данных, включающую сведения о гигиенических условиях труда на предприятиях страны, состоянии здоровья работников по сферам деятельности и рисках развития патологии.

Заключение. Наиболее распространённым опасным и вредным фактором является тяжесть трудового процесса. Заболевания опорно-двигательного аппарата у работников различных отраслей представляется серьёзной эргономической проблемой, поэтому необходимы профилактические меры, направленные на исправление рабочей позы, снижение рабочей нагрузки.

С целью уменьшения напряжённости трудового процесса и профилактики утомления, в качестве «психологической разгрузки» рекомендуются: психическая саморегуляция, аутогенная тренировка, функциональная музыка, коррекция функционального состояния с помощью слай-

до- и видеофильмов, дыхательные упражнения, оптимизирующие функциональное. Для электротранквилизации центральной нервной системы используются серийные аппараты типа "Лэнар" и "микро-Лэнар".

Среди общих мер необходима рационализация режима труда и отдыха, коррекция функционального состояния и повышение уровня тренированности, рациональная организация рабочего места с учетом эргономических требований, улучшение психологического климата в коллективе и социальная поддержка.

Основной целью реализации вышеперечисленных мер является снижение риска развития отклонений в состоянии здоровья работников, предотвращение или замедление прогрессирования заболеваний, уменьшение неблагоприятных для здоровья последствий.

Conclusions. The most common dangerous and harmful factor is the severity of the work process. Diseases of the musculoskeletal system in workers in various industries seem to be a serious ergonomic problem, so preventive measures are needed to correct the working posture and reduce the workload.

In order to reduce the intensity of the work process and prevent fatigue, the following are recommended as a "psychological relief": mental self-regulation, autogenic training, functional music, correction of the functional state with the help of slide and video films, breathing exercises that optimize the functional state, electrotranquilization of the central nervous system, serial devices of the "Lenar" and "micro-Lenar" types are used.

Among the general measures, it is necessary to rationalize the work and rest regimen, correct the functional state and increase the level of training, rationally organize the workplace taking into account ergonomic requirements, improve the psychological climate in the team and social support.

The main purpose of the implementation of the above measures is to reduce the risk of developing deviations in the health of employees, to prevent or slow down the progression of diseases, and to reduce adverse health consequences.

Библиографический список

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 368 с.
2. Условия труда. Условия труда, производственный травматизм (по отдельным видам экономической деятельности). Федеральная служба государственной статистики. https://rosstat.gov.ru/working_conditions
3. Rabiei H., Malakoutikhah M., Vaziri M. H., Sahlabadi A. S. The Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Miners around the World: A Systematic Review and Meta-Analysis. Iran J Public Health. 2021. No 50 (4). Pp. 676-688.
4. Ijaz M., Ahmad S. R., Akram M. M., Thygeson S. M., Ali Nadeem F., Khan W. U. Cross-Sectional Survey of Musculoskeletal Disorders in Workers Practicing Traditional Methods of Underground Coal Mining. Int J Environ Res Public Health. 2020 No 17 (7). 2566.
5. Chong H. T., Collie A. The Characteristics of Accepted Work-related Injuries and Diseases Claims in the Australian Coal Mining Industry. Saf Health Work. 2022. No 13 (2). Pp. 135-140.
6. Xue C. J., He W., Deng J., Fu D. G., Wang Y. Y., Xia Y. J. Clinical characteristics of 54 cases of bursitis in coal miners. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. 2021. V. 20. No 39 (4). Pp. 309-310.
7. Xu M., Yin X., Gong Y. Lifestyle Factors in the Association of Shift Work and Depression and Anxiety. JAMA Netw Open. 2023. V. 1. No 6 (8). e2328798.
8. Николаева Н. И., Филин А. С., Дикая Г. С. Оценка условий труда рабочих бурильных установок по добыче нефти. Здравоохранение Российской Федерации. 2021. № 65 (1) С. 50-53.
9. Sadeghniaat-Haghighi K., Mehrabinejad M. M., Hajighaderi A., Najafi A., Rahimi-Golkhandan A., Zahabi A. Shift Work Disorder, Insomnia, and Depression among Offshore Oil Rig Workers. Iran J Psychiatry. 2021. No 16 (2). Pp. 162-167.
10. Richter K., Acker J., Adam S., Niklewski G. Prevention of fatigue and insomnia in shift workers-a review of non-pharmacological measures. EPMA J. 2016. V. 2. No 7 (1). P. 16.
11. Хисамиев И. И., Шарафутдинова Н. Х., Шарафутдинов М. А. Сравнительная характеристика условий труда работников и состояние профессиональной заболеваемости в республике Башкортостан. Здоровье населения и среда обитания. 2021. С. 15-24.
12. Lee S., Kim Y. J., Kim Y., Kang D., Kim S. C., Kim S. Y. Incidence rates of injury, musculoskeletal, skin, pulmonary and chronic diseases among construction workers by classification of occupations in South Korea: a 1,027 subject-based cohort of the Korean Construction Worker's Cohort (KCWC). Ann Occup Environ Med. 2023. V 24. No 35. e26.
13. Forsman M., Bernmark E., Nilsson B., Pousette S., Mathiassen S. E. Participative development of packages in the food industry-evaluation of ergonomics and productivity by objective measurements. Work. 2012. No 41. Suppl 1. Pp.1751-1755.
14. Roveshti M. M., Pouya A. B., Pirposhteh E. A., Khedri B., Khajehnasiri F., Poursadeqiyan M. Work-related musculoskeletal disorders and related risk factors among bakers: A systematic review. Work. 2023. No 14.
15. Бойкин А. С., Куренкова Г. В. Гигиеническая характеристика заболеваемости с временной утратой трудоспособности работников, занятых в производстве алюминия. Прикаспийский вестник медицины и фармации, 2021. Т. 2. № 2. С. 17-22.

16. Попова А. Ю. Проблемы и тенденции профессиональной заболеваемости работников сельского хозяйства Российской Федерации. Здоровье населения и среда обитания. 2016. № 9 (282). С. 4-9.
17. Мигачева А. Г., Новикова Т. А., Спирин В. Ф. Влияние тяжести трудового процесса на формирование нарушений здоровья овощеводов защищенного грунта. Гигиена и санитария. 2021. № 100 (6). С. 598-604.
18. Контарева В. Ю. Профессиональная заболеваемость женщин, связанная с условиями труда в сельском хозяйстве. Безопасность техногенных и природных систем. 2023. Т. 7. № 3. С. 24-33.
19. Беляков С. А., Захаров С. В. Результаты исследований трудового процесса операторов технических средств сельскохозяйственного назначения. Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2015. С. 99-103.
20. Wang A., Arah O. A., Kauhanen J., Krause N. Work schedules and 11-year progression of carotid atherosclerosis in middle-aged finnish men. Am. J. Ind. Med. 2015. No 58. Pp. 1-13.

References

1. On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2022: State Report. Moscow: Federal Service for Supervision in the Sphere of Protection of Consumer Rights and Human Well-Being. 2023. 368 p. (In Russian)
2. Working conditions. Working conditions, industrial injuries (for certain types of economic activity). Federal State Statistics Service. https://rosstat.gov.ru/working_conditions
3. Rabiei H., Malakoutikhah M., Vaziri M. H., Sahlabadi A. S. The Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Miners around the World: A Systematic Review and Meta-Analysis. Iran J Public Health. 2021. No 50 (4). Pp. 676-688.
4. Ijaz M., Ahmad S. R., Akram M. M., Thygersson S. M., Ali Nadeem F., Khan W. U. Cross-Sectional Survey of Musculoskeletal Disorders in Workers Practicing Traditional Methods of Underground Coal Mining. Int J Environ Res Public Health. 2020 No 17 (7). 2566.
5. Chong H. T., Collie A. The Characteristics of Accepted Work-related Injuries and Diseases Claims in the Australian Coal Mining Industry. Saf Health Work. 2022. No 13 (2). Pp. 135-140.
6. Xue C. J., He W., Deng J., Fu D. G., Wang Y. Y., Xia Y. J. Clinical characteristics of 54 cases of bursitis in coal miners. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. 2021. V. 20. No 39 (4). Pp. 309-310.
7. Xu M., Yin X., Gong Y. Lifestyle Factors in the Association of Shift Work and Depression and Anxiety. JAMA Netw Open. 2023. V. 1. No 6 (8). e2328798.
8. Nikolaeva N. I., Filin A. S., Dikaya G. S. Assessment of Working Conditions of Workers of Oil Production Drilling Rigs. Health care of the Russian Federation. 2021. No 65 (1) P. 50-53.
9. Sadeghniaat-Haghighi K., Mehrabinejad M. M., Hajighaderi A., Najafi A., Rahimi-Golkhandan A., Zahabi A. Shift Work Disorder, Insomnia, and Depression among Offshore Oil Rig Workers. Iran J Psychiatry. 2021. No 16 (2). Pp. 162-167.
10. Richter K., Acker J., Adam S., Niklewski G. Prevention of fatigue and insomnia in shift workers-a review of non-pharmacological measures. EPMA J. 2016. V. 2. No 7 (1). P. 16.
11. Khisamiev I. I., Sharafutdinova N. Kh., Sharafutdinov M. A. Comparative Characteristics of Working Conditions of Workers and the State of Occupational Morbidity in the Republic of Bashkortostan. Public health and habitat. 2021. P. 15-24.
12. Lee S., Kim Y. J., Kim Y., Kang D., Kim S. C., Kim S. Y. Incidence rates of injury, musculoskeletal, skin, pulmonary and chronic diseases among construction workers by classification of occupations in South Korea: a 1,027 subject-based cohort of the Korean Construction Worker's Cohort (KCWC). Ann Occup Environ Med. 2023. V 24. No 35. e26.
13. Forsman M., Bernmark E., Nilsson B., Pousette S., Mathiassen S. E. Participative development of packages in the food industry--evaluation of ergonomics and productivity by objective measurements. Work. 2012. No 41. Suppl 1. Pp.1751-1755.
14. Roveshti M. M., Pouya A. B., Pirposhteh E. A., Khedri B., Khajehnasiri F., Poursadeqiyan M. Work-related musculoskeletal disorders and related risk factors among bakers: A systematic review. Work. 2023. No 14.
15. Boykin A. S., Kurenkova G. V. Hygienic Characteristics of Morbidity with Temporary Disability of Workers Engaged in Aluminum Production. Caspian Bulletin of Medicine and Pharmacy. 2021. T. 2. № 2. Pp. 17-22.
16. Popova A. Yu. Problems and trends in occupational morbidity of agricultural workers in the Russian Federation. Public health and habitat. 2016. № 9 (282). Pp. 4-9.
17. Migacheva A. G., Novikova T. A., Spirin V. F. Influence of labor process severity on the formation of health disorders of vegetable growers in protected soil. Hygiene and sanitation. 2021. № 100 (6). Pp. 598-604.
18. Kontareva V. Y. Occupational morbidity of women associated with working conditions in agriculture. Safety of man-made and natural systems. 2023. T. 7. № 3. Pp. 24-33.
19. Belyakov S. A., Zakharov S. V. Results of Studies of the Labor Process of Operators of Technical Means of Agricultural Purpose. Electronic Scientific and Methodological Journal of Omsk State Agrarian University. 2015. P. 99-103.
20. Wang A., Arah O. A., Kauhanen J., Krause N. Work schedules and 11-year progression of carotid atherosclerosis in middle-aged finnish men. Am. J. Ind. Med. 2015. No 58. Pp. 1-13.

Информация об авторах

Контарева Валентина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID: 0000-0002-0497-9960, e-mail: valia_k@bk.ru

Белик Светлана Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» (Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, переулок Нахичеванский, 29), ORCID: 0000-0002-7743-4144, e-mail: superbelik@mail.ru

Моргуль Елена Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» (Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, переулок Нахичеванский, 29), ORCID: 0000-0001-6389-8872, e-mail: ozoedu@mail.ru

Разин Александр Сергеевич, кандидат философских наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID 0000-0002-5253-7913, e-mail: razin-1978@yandex.ru

Authors' Information

Kontareva Valentina Yurievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov Region, Oktyabrsky District, Persianovsky Village, Krivoshlykova Street, 24), ORCID: 0000-0002-0497-9960, e-mail: valia_k@bk.ru

Belik Svetlana Nikolaevna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, Rostov State Medical University (Russian Federation, 344022, Rostov-on-Don, Nakhichevsky Lane, 29), ORCID: 0000-0002-7743-4144, e-mail: superblik@mail.ru

Morgul Elena Valeryevna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Rostov State Medical University (Russian Federation, 344022, Rostov-on-Don, Nakhichevsky Lane, 29), ORCID: 0000-0001-6389-8872, e-mail: ozoedu@mail.ru

Razin Aleksander Sergeevich, Candidate of Philosophical Sciences, Senior Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), ORCID: 0000-0002-5253-7913, e-mail: razin-1978@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-38

BLACK SOLDIER FLY – FROM LARVA TO FLOUR**Samokish N. V., Rastovarov E. I., Sycheva O. V., Seriy N. V.**

Stavropol State Agrarian University
Stavropol, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 03.03.2025

Submitted 17.04.2025

The research was carried out within the framework of the program to support the development of scientific teams of Stavropol State Agrarian University, implemented with the financial support of the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030".

Abstract

Introduction. The growth of the world's population, the depletion of natural resources, in particular, food, determines the search for new alternative sources of food and its nutrients. Insects can be such a source, despite the unconventionality of their consumption. One of the most studied insect species is the Black soldier fly (*Hermetia illucens*). It contains all the food components: protein, fat, carbohydrates, vitamins and minerals. Therefore, the purpose of this study was the technology of obtaining flour from the larvae of the Black soldier fly and evaluating its nutritional and qualitative characteristics. **Materials and methods.** The research material was black lion larvae, which were dried and ground to produce flour. Standard methods were used to study the composition, protein profile, and fatty acid composition. **Results and conclusions.** Technological drying modes should ensure safety, preservation of the maximum amount of nutrients and prevention of spoilage of the material. Stages of the technological process: larval selection, washing, drying, blanching in order to ensure microbiological purity and stabilization of larval tissues before drying. The drying temperature is not more than 50-70 °C for 4-6 hours. After cooling, the substrate is ground to obtain fine flour. The study of the amino acid profile confirmed the usefulness of proteins. There are only seven essential amino acids in the amount of 14,85 %. The analysis of the fatty acid composition confirmed the presence of polyunsaturated (ω -3 and ω -6) fatty acids in the amount of 8,7 %, which characterizes this fat as a valuable biologically active additive. **Conclusion.** The study of the fractional composition of flour obtained from the larva of the Black soldier fly (*Hermetia illucens*) allows us to consider it a source of functional components such as ω -6 and ω -3 fatty acids, biological forms of macro- and microelements: calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, iron and zinc, as well as B vitamins.

Keywords: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, fly larvae, alternative protein sources, edible insects.

Citation. Samokish N. V., Rastovarov E. I., Sycheva O. V., Seriy N. V. Black soldier fly – from larva to flour. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 348-355 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-38.

The author's contribution. All the authors participated in the preparation, conduct of the study and the analysis of its results. The presented version of the article is agreed with all the authors.

Conflict of interests. All authors stated that there was no conflict of interest.

УДК 638.4

МУХА ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА – ОТ ЛИЧИНКИ ДО МУКИ

Самокиш Н. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Растоваров Е. И., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Сычева О. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Серий Н. В., студент

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»
г. Ставрополь, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках программы поддержки развития научных коллективов Ставропольского государственного аграрного университета, реализуемой при финансовой поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет – 2030».

Актуальность. Рост населения планеты, истощение природных ресурсов, в частности пищевых, предопределяет поиск новых, альтернативных источников пищи и её нутриентов. Насекомые могут явиться таким источником, несмотря на нетрадиционность их употребления в пищу. Одним из

наиболее изученных видов насекомых является муха Черная львинка (*Hermetia illucens*). В её составе содержатся все пищевые компоненты: белок, жир, углеводы, витамины и минеральные вещества. Поэтому целью настоящего исследования явилась технология получения муки из личинок мухи черная львинка и оценка её питательных и качественных характеристик. **Материалы и методы.** Материалом исследования послужили личинки черной львинки, которые подверглись сушке и перемалыванию для получения муки. Для исследования белкового профиля и жирнокислотного состава использовались стандартные методы. **Результаты и выводы.** Технологические режимы сушки должны обеспечивать безопасность, сохранение максимального количества питательных веществ и предотвращение порчи материала. Этапы технологического процесса: отбор личинок, мойка, сушка, бланширование с целью обеспечения микробиологической чистоты и стабилизации тканей личинки перед сушкой. Температура сушки не более 50-70 °С в течение 4-6 ч. После охлаждения осуществляется перемалывание субстрата для получения мелкодисперсной муки. Исследование аминокислотного профиля подтвердило полноценность белков. Идентифицировано всего семь незаменимых аминокислот в количестве 14,85 %. Анализ жирнокислотного состава показал наличие полиненасыщенных (ω -3 и ω -6) жирных кислот в количестве 8,7 %, что характеризует данный жир как ценную биологически активную добавку. **Заключение.** Изучение фракционного состава муки, полученной из личинки мухи черная львинка (*Hermetia illucens*), позволяет считать ее источником функциональных компонентов, таких как ω -6 и ω -3 жирные кислоты, биологические формы макро- и микроэлементов: кальция, фосфора, калия, магния, натрия, железа и цинка, а также витамины группы В.

Ключевые слова: муха Черная львинка, *Hermetia illucens*, личинки мух, альтернативные источники протеина, съедобные насекомые.

Цитирование. Самокиш Н. В., Растоваров Е. И., Сычева О. В., Серый Н. В. Муха черная львинка – от личинки до муки. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 348-355. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-38.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Возрастающий рост спроса на белок обуславливает необходимость поиска альтернативных источников протеина. Таким источником являются съедобные насекомые, однако многие потребители на данный момент негативно относятся к использованию насекомых в качестве продукта питания. Однако добавление муки из насекомых в привычные продукты может способствовать решению данной проблемы [1].

Проведен сравнительный анализ многих видов насекомых: черной львинки (*Hermetia illucens*), сверчка домашнего (*Acheta domesticus*), саранчи (*Locusta migratoria*), мучного хрущака (*Tribolium confusum*) и установлено, что наиболее востребованным насекомым, с точки зрения промышленного разведения, а также быстрого роста и развития является муха черная львинка [2, 3, 4].

Было установлено, что мука из личинок чёрной львинки не уступает по усвояемости куриному мясу и вполне может быть перспективной белковой альтернативой для сельскохозяйственных животных и рыб [5, 6, 7].

Для биомассы насекомых характерно не только высокое содержание белка, что при условии его корректного извлечения позволяет отнести данный продукт к перспективным источникам белка, сопоставимым по пищевой и биологической ценности с продуктами животного происхождения.

Н. В. Тышко, В. М. Жминченко, Н. С. Никитин и др. (2021) провели всесторонние исследования личинок мухи черная львинка *Hermetia illucens*. В результате установлено, что белок личинок *H. illucens* характеризуется высоким содержанием незаменимых аминокислот – треонина, валина, изолейцина и лейцина, а также серосодержащих аминокислот метионина, цистеина и лизина, что может служить источником для их получения в виде добавок [8].

Поэтому в последнее время интерес к использованию альтернативных источников белка, в частности белка насекомых, набирает обороты. Исторически сложилось, что в странах Азиатско-Тихоокеанского региона и Южной Америки, люди употребляли в пищу некоторые виды насекомых, среди которых выделяют так называемых, съедобных. Отсюда пошло современное «увлечение» использования в пищу насекомых в Европейском союзе, США и Канаде, где даже разработаны правовые нормы, регулирующие использование насекомых в пищу [9].

Россия также не осталась в стороне от мирового глобального тренда. Согласно Распоряжению правительства РФ N 2761-р в перечень сельскохозяйственной продукции внесены изменения, которые включают производство, первичную и последующую перера-

ботку мухи чёрная львинка². Исходя из этого не исключено, что пищевые ингредиенты, полученные от переработки мухи черная львинка, станут востребованы на пищевом рынке не только России, но и других государств [10].

Среда естественного обитания черной львинки (*Hermetia illucens*, или черный солдатик) - Центральная и Южная Америка, поэтому в обстановке российского климата ей необходимо создавать тепличные условия. Но это вполне приемлемо, так как из неё возможно получение разнообразной продукции - от муки тонкого и грубого помола, гранул и пюре. Пока личинки черной львинки в основном используются в качестве кормовых добавок для животных, но в плане производства еды для людей они обладают большим потенциалом.

Белок насекомых питательный и неаллергенный, в отличие от рыбного или молочного белка, он является мощным иммуномодулятором и формирует активный иммунитет на разных уровнях. Хитин, как считают эксперты, является универсальным абсорбентом, который удаляет токсины из организма [11].

Учитывая высокую актуальность проблемы, в научной лаборатории «Корма и обмен веществ» ФГБОУ ВО Ставропольского ГАУ проведены исследования всех стадий развития мухи черная львинка. Установлено, что питательность сухой личинки очень высока. Сырого протеина, в зависимости от стадии развития, содержится 40-45 %, а количество сырого жира может достигать 42 %, что придает высокую энергетическую ценность получаемому субстрату. Поэтому целью настоящего исследования явилась технологии получения муки из личинок мухи черная львинка и оценка её питательных и качественных характеристик.

Материалы и методы. Материалом исследования послужили личинки черной львинки, полученные в условиях вивария СтГАУ, которые подверглись сушке и перемалыванию для получения муки.

Основой для дальнейшего исследования послужили результаты, полученные авторами ранее (таблица 1).

Таблица 1 – Состав личинки мухи черная львинка, % [12]
Table 1 – Composition of the larva of the black soldier fly, % [12]

Массовая доля / Mass fraction	Значение / Meaning
Влаги / Moisture	7,23
Сырого протеина / Crude Protein	41,50
Хитина / Chitin	8,11
Сырого жира / Crude Fat	33,26
Сырой золы / Crude ash	4,84
БЭВ / BEV	5,06
Кальция / Calcium	0,89
Фосфора / Phosphorus	0,63

Анализ высушенного биоматериала личинок черной львинки показал высокое содержание сырого протеина в личинке – 41,50 %. Содержание жира в личинке также было достаточно высоким – 33,26 %. То есть личинка черной львинки может быть источником ценных питательных веществ – белка и жира.

Определение содержания влаги и сухого вещества проводилось по ГОСТ 5903-89, количественного содержания аминокислот по ГОСТ 32195-2013, сырого протеина – по ГОСТ 32044.1-2012 методом Кьельдаля, сырой клетчатки – по ГОСТ 31675-2012, сырого жира – по ГОСТ 13496.15-2016, сырой золы – по ГОСТ 32933-2014, общей влаги – по ГОСТ Р 54951. Минеральный и витаминный состав определялся методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Результаты и обсуждение. Сушка личинок черной львинки (*Hermetia illucens*) является важным этапом в процессе подготовки сырья для дальнейшего использования, будь то получение муки или иных продуктов.

² Распоряжение правительства РФ N 2761-р

<http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310110024?index=2>

Технологические режимы сушки должны обеспечивать безопасность, сохранение максимального количества питательных веществ и предотвращение порчи материала. Этапы технологического процесса сушки личинок представлены на блок-схеме (рисунок).

Сбор личинок производится вручную или механизированным способом. Затем проводится тщательный отбор здоровых особей, удаление посторонних примесей и загрязнений. Далее личинки промывают проточной водой для удаления остатков корма и грязи. Затем необходима предварительная обработка – бланширование. Это позволяет уничтожить патогенную микрофлору и облегчить последующую сушку. Быстрое охлаждение после бланширования предотвращает переваривание тканей. Таким образом, личинки подготовлены к сушке.



Рисунок – Блок-схема технологического процесса сушки личинок
Figure – Block diagram of the technological process of drying larvae

Можно применять различные типы сушки: конвективную, инфракрасную, микроволновую или комбинированную. Применение ИК-излучения или микроволновых технологий ускоряет процесс и улучшает качество готового продукта, а использование вакуумной сушки позволяет снизить температуру процесса и сохранить больше питательных веществ.

Но при этом следует придерживаться температуры 50-70 °С. Скорость воздушного потока: достаточная для равномерного высыхания, но не чрезмерная, чтобы избежать повреждения поверхности личинок.

Более высокие температуры могут привести к разрушению питательных веществ. Время сушки зависит от метода и оборудования, обычно составляет несколько часов. Влажность конечного продукта: не более 10 %. После завершения сушки личинки охлаждаются до комнатной температуры.

Рекомендуется упаковка в герметичные контейнеры или пакеты для предотвращения окисления и попадания влаги.

Следующий этап – измельчение. Высушенные личинки измельчают до состояния порошка. Для этого используют мельницы различного типа:

- шаровые мельницы - медленный, но эффективный способ помола;
- роторные дробилки - быстрое измельчение, подходит для больших объемов;
- дезинтеграторы - специальные устройства для тонкого помола. Получившаяся мука должна обладать однородной структурой и мелким размером частиц. Далее муку просеивают через сито с определенным размером ячеек, чтобы избавиться от крупных фрагментов и добиться однородности.

Готовую муку упаковывают в герметичную упаковку, защищающую продукт от воздействия кислорода и влаги. Хранить муку рекомендуется в сухом прохладном месте при температуре не выше 20 °С.

В результате всех этих операций получается высококачественная мука, пригодная не только для кормовых целей, но и для использования для некоторых видов продуктов питания, таких как хлебобулочные изделия, кондитерские изделия, супы и соусы.

Пищевая ценность муки из личинок черной львинки (*Hermetia illucens*), как и любой другой муки из насекомых, зависит от множества факторов, включая условия выращивания, рацион и стадию жизненного цикла, когда были собраны личинки.

Важным компонентом муки из насекомых является хитин - природный полимер, который входит в структуру экзоскелета. Хотя хитин не усваивается организмом человека, он может играть роль пребиотика, поддерживая здоровую микрофлору кишечника. В муке из личинок *Hermetia illucens* достаточно большое количество хитина 8,11 % (таблица 1).

Хитин в составе муки может улучшать пищеварение, снижать уровень холестерина, укреплять иммунитет и бороться с воспалениями. Он полезен для кожи и волос, помогает организму избавляться от токсинов и защищает слизистые оболочки желудочно-кишечного тракта. Хитин также способствует заживлению ран, улучшает состояние костей и суставов, регулирует уровень сахара в крови и помогает контролировать вес. Этот компонент оказывает антимикробное действие, поддерживает сердечно-сосудистую систему и нормализует гормональный фон. Кроме того, хитин благотворно влияет на нервную систему, улучшает когнитивные функции и способствует повышению выносливости.

Исследование аминокислотного состава белков муки из личинок черной львинки показало, что белковый профиль включает семь незаменимых аминокислот и десять заменимых (таблица 2).

Таблица 2 – Аминокислотный состав белка муки из личинок *Hermetia illucens*, %
Table 2 – Amino acid composition of flour protein from *Hermetia illucens* larvae, %

Аминокислота / Amino acid	Содержание / Content
Незаменимые аминокислоты, всего / Essential amino acids, total	14,85
Валин (Val)	2,67
Изолейцин (Ile)	1,60
Лейцин (Leu)	2,73
Лизин (Lys)	2,90
Метионин (Met)	1,21
Треонин (Thr)	1,83
Фенилаланин (Phe)	1,91
Заменимые аминокислоты, всего / Non-essential acids, total	25,89
Пролин (Pro)	2,37
Глицин (Gly)	2,45
Аланин (Ala)	2,96
Цистин (Cys)	0,23
Серин (Ser)	1,76
Глутаминовая кислота (Glu)	4,90
Аспарагиновая кислота (Asp)	4,57
Тирозин (Tyr)	3,08
Гистидин (His)	1,39
Аргинин (Arg)	2,18
ИТОГО: / Total	40,74

Среди незаменимых аминокислот больше всего лизина – 2,9 % и валина – 2,67 %, среди заменимых аминокислот лидируют по количеству глутаминовая (4,9 %) и аспарагиновая (4,57 %) кислоты.

Содержание жира в личинке – 33,26 % (таблица 1), поэтому определение его жирнокислотного состава дает представление не только о питательности муки, но и её биологической ценности (таблица 3).

Среди насыщенных жирных кислот лидером является пальмитиновая жирная кислота, что показывает на принадлежность к жирам животного происхождения. Среди ненасыщенных жирных кислот в жире преобладают олеиновая и линолевая. Важно отметить, что в сумме полиненасыщенные кислоты (ω -3 и ω -6) составляют 8,7 %, что характеризует данный жир как ценную биологически активную добавку, способную оказывать положительное влияние на сердечно-сосудистую систему.

Таблица 3 – Жирнокислотный состав жира муки из личинок *Hermetia illucens*, %
Table 3 – Fatty acid composition of flour fat from *Hermetia illucens* larvae, %

Жирная кислота / Fatty acid	Обозначение / Designation	Содержание / Content
Насыщенные / Saturated		
Лауриновая / Lauric	C12:0	2,34
Миристиновая / Myristic	C14:0	2,42
Пальмитиновая / Palmitic	C16:0	8,60
Стеариновая / Stearic	C18:0	6,30
Мононенасыщенные / Monounsaturated		
Олеиновая / Oleic	C18:1 ω -9	5,20
Полиненасыщенные / Polyunsaturated		
Линолевая / Linoleic	C18:2 ω -6	6,20
Альфа-линоленовая / Alpha-linolenic	C18:3 ω -3	1,30
Арахидоновая / Arachidonic	C20:4 ω -6	1,20

Мука из личинок *Hermetia illucens* достаточно богата микроэлементами, среди которых особенно выделяются Ca – 0,89 % и P – 0,63 %, также присутствуют натрий, магний, железо и цинк (таблица 4).

Таблица 4 – Минеральный и витаминный состав муки из личинок *Hermetia illucens* (на 100 г)
Table 4 – Mineral and vitamin composition of flour from *Hermetia illucens* larvae (per 100 g)

Минерал / Mineral	Значение / Meaning	Витамин / Vitamin	Значение / Meaning
Кальций, мг / Calcium, mg	890	Витамин B3 (ниацин), мг / Vitamin B3 (niacin), mg	3,0-5,0
Фосфор, мг / Phosphorus, mg	630	Витамин E (токоферолы), мг / Vitamin E (tocopherols), mg	2,0-3,0
Калий, мг / Potassium, mg	360	Витамин B2 (рибофлавин), мг / Vitamin B2 (riboflavin), mg	0,8-1,2
Магний, мг / Magnesium, mg	260	Витамин B1 (тиамин), мг / Vitamin B1 (thiamine), mg	0,5-0,7
Натрий, мг / Sodium, mg	70	Витамин B6 (пиридоксин), мг / Vitamin B6 (pyridoxine), mg	0,4-0,6
Железо, мг / Iron, mg	10	Витамин B9 (фолиевая кислота), мкг / Vitamin B9 (folic acid), mcg	120-180
Цинк, мг / Zinc, mg	7	Витамин B12 (кобаламин) / Vitamin B12 (cobalamin)	Следы / traces

Витаминный состав муки из личинок *Hermetia illucens* богат витаминами группы B (B1, B2, B6, B12), которые важны для обмена веществ и работы нервной системы. Также отмечено присутствие витамина E, проявляющего выраженные антиоксидантные свойства.

Выводы. Проведена отработка технологических режимов сушки личинок черной львинки (*Hermetia illucens*), выращенных в условиях вивария Ставропольского ГАУ, и получения муки с учетом сохранения питательной ценности и обеспечения безопасности полученного продукта.

Результат изучения фракционного состава белка и жира полученной муки позволяет считать ее источником функциональных компонентов - незаменимых аминокислот, ω -6 и ω -3 жирных кислот, биологических форм макро- и микроэлементов: кальция, фосфора, калия, магния, натрия, железа и цинка, а также витаминов группы B.

Conclusions. The technological modes of drying black lion larvae (*Hermetia illucens*) grown in the conditions of the Stavropol State Agrarian University vivarium and flour production were tested, taking into account the preservation of nutritional value and ensuring the safety of the resulting product.

The result of studying the fractional composition of protein and fat of the resulting flour allows us to consider it a source of functional components of essential amino acids, ω -6 and ω -3 fatty acids, biological forms of macro- and microelements: calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, iron and zinc, as well as B vitamins.

Библиографический список

1. Мечтаева Е. В., Полубесова М. А. Мучные кондитерские изделия с добавлением муки из *Acheta Domesticus*. Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. 2024. № 1. С. 129-134.
2. Ушакова Н. А., Некрасов Р. В., Бастраков А. И. Личинки черной львинки (*Hermetia illucens*) – новый компонент рациона сельскохозяйственных животных. Фундаментальные и прикладные аспекты кормления сельскохозяйственных животных: материалы международной научно-практической конференции. Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л. К. Эрнста, 2018. С. 311-312.
3. Шевченко Н. И., Гусева Ю. А., Длуская Ю. С. Перспективы использования личинок чёрной львинкой (*Hermetia illucens*) в качестве белка в рационах сельскохозяйственных животных. Инновационная траектория развития современной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2022. С. 192-201.
4. Мельник А. Д. и др. Альтернативный источник белка в пищевой промышленности. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 152. С. 68-76.
5. Данилова Е. В., Хабиров А. Ф. Чёрная львинка, как альтернативный источник белка в рационе птицы: обзор. Российский электронный научный журнал. 2023. № 4 (50). С. 139-158.
6. Doroshenko V. A., et al. Studying the Thermophysical Characteristics of the Muscle Mass of the Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) as a Drying Object. Engineering Technologies and Systems. 2022. V. 32. No. 4. Pp. 613-629.
7. Некрасов Р. В. К вопросу об использовании личинок черной львинки в кормлении животных. Комбикорма. 2024. № 5. С. 41-44.
8. Тышко Н. В. И др. Комплексные исследования биологической ценности белка личинки *Hermetia illucens*. Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 5 (537). С. 49-58.
9. Садькова Э. О. и др. Пищевая и биологическая ценность биомассы личинок *Hermetia illucens*. Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 2 (534). С. 73-82.
10. Иванов Д. В. Безопасна ли еда из насекомых? Вестник Восточно-Сибирской Открытой Академии. 2024. № 52 (52).
11. Белая А. Мини-скот: когда россияне начнут есть мух и кого ими уже кормят. <https://www.forbes.ru/prodovolstvennaya-bezopasnost/499043-mini-skot-kogda-rossiane-nacnut-est-muh-i-kogo-imi-uzhe-kormat>.
12. Самокиш Н. В. И др. Перспективы разведения мухи черная львинка для решения проблем белкового питания в органическом сельском хозяйстве. Вестник КрасГАУ. 2025. № 1 (214). С. 93-99.

References

1. Mechtaeva E. V., Polubesova M. A. Flour confectionery with the addition of flour from *Acheta Domesticus*. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences. 2024. № 1. Pp. 129-134.
2. Ushakova N. A., Nekrasov R. V., Bastrakov A. I. Larvae of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as a New Component of the Diet of Farm Animals. Fundamental and Applied Aspects of Feeding Farm Animals: Materials of the International Scientific and Practical Conference. All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L. K. Ernst, 2018. Pp. 311-312.
3. Shevchenko N. I., Guseva Y. A., Dluska Y. S. Prospects for the use of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as protein in the diets of farm animals. Innovative trajectory of development of modern science: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science", 2022. Pp. 192-201.
4. Melnik A. D. et al. Alternative Source of Protein in the Food Industry. Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2019. № 152. Pp. 68-76.
5. Danilova E. V., Khabirov A. F. Black soldier fly as an alternative source of protein in the diet of poultry: review. Russian Electronic Scientific Journal. 2023. № 4 (50). Pp. 139-158.
6. Doroshenko V. A., et al. Studying the Thermophysical Characteristics of the Muscle Mass of the Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) as a Drying Object. Engineering Technologies and Systems. 2022. V. 32. No. 4. Pp. 613-629.
7. Nekrasov R. V. On the Use of Black Soldier Fly Larvae in Animal Feeding. Feed. 2024. № 5. Pp. 41-44.
8. Tyshko N. V. et al. Comprehensive studies of the biological value of *Hermetia illucens* larval protein. Nutrition issues. 2021. V. 90. № 5 (537). Pp. 49-58.
9. Sadykova E. O., et al. Nutritional and biological value of the biomass of *Hermetia illucens* larvae. Nutrition issues. 2021. V. 90. № 2 (534). Pp. 73-82.
10. Ivanov D. V. Is insect food safe? Bulletin of the East Siberian Open Academy. 2024. № 52 (52).
11. Belaya A. Mini-cattle: when Russians will start eating flies and who is already fed with them. <https://www.forbes.ru/prodovolstvennaya-bezopasnost/499043-mini-skot-kogda-rossiane-nacnut-est-muh-i-kogo-imi-uzhe-kormat>.
12. Samokish N. V. et al. Prospects for breeding the black soldier fly to solve the problems of protein nutrition in organic agriculture. Vestnik KrasGAU. 2025. № 1 (214). Pp. 93-99.

Информация об авторах

Самокиш Николай Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, старший научный сотрудник научной лаборатории, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12), ORCID 0000-0003-0304-5995, e-mail: nsamokish@yandex.ru

Растоваров Евгений Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12), e-mail: rastovarov@mail.ru

Сычева Ольга Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12), ORCID 0000-0001-8885-7508, e-mail: olga-sycheva@mail.ru

Серый Николай Витальевич, студент, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12), e-mail: www.stalker.350@gmail.com

Authors' Information

Samokish Nikolay Viktorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Senior Researcher at the Scientific Laboratory, Stavropol State Agrarian University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Zootehnicheskyy Lane, 12), ORCID 0000-0003-0304-5995, e-mail: nsamokish@yandex.ru

Rastovarov Evgeny Ivanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department, Stavropol State Agrarian University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Zootehnicheskyy Lane, 12), e-mail: rastovarov@mail.ru

Sycheva Olga Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department, Stavropol State Agrarian University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Zootehnicheskyy Lane, 12) ORCID 0000-0001-8885-7508, e-mail: olga-sycheva@mail.ru

Seriy Nikolay Vitalievich, student, Stavropol State Agrarian University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Zootehnicheskyy Lane, 12), e-mail: www.stalker.350@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-39

CHANGES IN THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MILK WHEN USING DEAD BEES¹Khabibullin I. M., ^{1,2}Illarionova O. V., ^{1,2}Mironova I. V., ¹Khabibullin R. M¹Bashkir State Agrarian University²Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 03.03.2025

Submitted 17.04.2025

Abstract

Introduction. The research is devoted to studying the effect of various dosages of dead bees on the technological properties of milk of black-and-white cows. Preliminarily, the animals of the experimental groups were given a biologically active component at the rate of 0.005 ml per 1 kg of animal body weight, 0.01 ml and IV – 0.015 ml, respectively. A comparison of the obtained results was carried out with cows of the control group consuming only the main diet. The data were recorded by seasons of the year. The best result in all cases was recorded in cows that periodically consumed the beekeeping product at a dosage of 0.01 ml per 1 kg of live weight. **Materials and methods.** Milk was produced in the conditions of Agro-Alliance LLC, Chishminsky District, Republic of Bashkortostan, from 40 black-and-white cows divided according to the principle of analog groups into four groups of 10 heads each. The division was associated with the fact that the effect of different dosages of dead bee tincture on the composition and properties of milk and to determine the optimal rate of its use. The first 10 animals were assigned to the control (I) group, the remaining 30 – to the experimental, respectively, groups II, III and IV. For 10 cows of the II experimental group, dead bee tincture was administered at the rate of 0.005 ml per 1 kg of animal body weight, for III – 0.01 ml and IV – 0.015 ml, respectively. The specified volume of tinctures for each animal was dissolved in 200 ml of water and given to the animals to drink in the morning. The duration of tincture intake was 14 days, after 14 days the intake was resumed. **Results and conclusion.** Our studies have established that the mass fraction of protein varied by seasons: maximum values (3.25-3.33 %) were recorded in winter, minimum values in spring (3.14-3.16 %), intermediate values were in summer (3.14-3.21 %) and autumn (3.17-3.23 %). The casein content in all seasons of the year was similar to the total protein content. In the intergroup analysis, it can be noted that milk of the I (control) group of the spring period contained 2.56 % casein, which is lower than that of analogues of II-IV (experimental) groups by 0.01-0.02 %, summer – 2.53 % and 0.06-0.07 %, autumn – 2.57 % and 0.01-0.04 %, winter – 2.67 % and 0.03-0.07 % ($P \leq 0.05$), with an advantage of animals of the III (experimental) group. Technological properties of milk also changed by seasons and in the intergroup aspect. When comparing the groups in the summer, the milk of animals in group III (experimental) curdled in the minimum time of 28.88 minutes, which is less than in the sample of group I (control) – by 1.31 minutes 4.54 % ($P \leq 0.05$), II (experimental) – by 0.54 minutes (1.87 %) and IV (experimental) – by 0.12 minutes (0.42 %). A similar pattern is observed in other seasons of the year.

Keywords: black-and-white breed of cows, milk productivity of cows, feeding of cows, beekeeping products, dead bees, composition of cow milk, technological properties of cow milk, rennet.

Citation: Khabibullin I. M., Illarionova O. V., Mironova I. V., Khabibullin R. M. Changes in the technological properties of milk when using dead bees. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 355-362 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-39.

Author contribution. All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 638.178:636.22

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЧЕЛИНОГО ПОДМОРА¹Хабибуллин И. М., кандидат биологических наук^{1,2}Илларионова О. В., аспирант^{1,2}Миронова И. В., профессор, доктор биологических наук¹Хабибуллин Р. М., доцент, кандидат биологических наук¹Башкирский государственный аграрный университет²Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация

Актуальность. Исследования посвящены изучению влияния различных дозировок пчелиного подмора на технологические свойства молока коров черно-пестрой породы. Предварительно животным опытных групп задавали биологически активный компонент из расчета 0,005 мл на 1 кг массы тела животного, 0,01 мл и IV – 0,015 мл, соответственно. Сравнение полученных результатов проводили с коровами контрольной группы, потребляющими только основной рацион. Данные фиксировали по сезонам года. Наилучший результат во всех случаях был зафиксирован у коров, периодически потреблявших продукт пчеловодства в дозировке 0,01 мл на 1 кг живой массы. **Материалы и методы.** Производство молока осуществлялось в условиях ООО «Агро-Альянс» Чишминского района Республики Башкортостан от 40 коров чёрно-пёстрой породы, разделённых по принципу групп-аналогов на четыре группы по 10 гол. в каждой. Деление было связано с тем, чтобы оценить влияние разных дозировок настойки пчелиного подмора на состав и свойства молока и определить оптимальную норму ее использования. Первые 10 животных были отнесены к контрольной (I) группе, остальные 30 – к опытным, соответственно II, III и IV группы. Для 10 коров II опытной группы настойку пчелиного подмора вводили из расчета 0,005 мл на 1 кг массы тела животного, для III – 0,01 мл и IV – 0,015 мл, соответственно. Указанный объём настоек для каждого животного растворяли в 200 мл воды и задавали с питьём в утренние часы. Длительность приема настойки составляла 14 дней, через 14 дней прием возобновляли. **Результаты и заключение.** В наших исследованиях было установлено, что массовая доля белка изменялась по сезонам года: в зимний период регистрировали максимальные значения (3,25-3,33 %), минимальные – в весенний (3,14-3,16 %), промежуточные значения были в летний (3,14-3,21 %) и осенний (3,17-3,23 %) периоды. По содержанию казеина во все сезоны года была аналогичной с общим содержанием белка. При межгрупповом анализе можно заметить, что молоко I (контрольной) группы весеннего периода содержало 2,56 % казеина, что ниже, чем у аналогов II-IV (опытных) групп на 0,01-0,02 %, летнего – 2,53 % и 0,06-0,07 %, осеннего – 2,57 % и 0,01-0,04 %, зимнего – 2,67 % и 0,03-0,07 % ($P \leq 0,05$), с преимуществом животных III (опытной) группы. Технологические свойства молока также изменялись по сезонам года и в межгрупповом аспекте. При сравнении групп в летний период молоко животных III (опытной) группы свертывалось за минимальное время составив 28,88 мин., что меньше, чем в образце I (контрольной) группы, на 1,31 мин. 4,54 % ($P \leq 0,05$), II (опытной) – на 0,54 мин. (1,87 %) и IV (опытной) – на 0,12 мин. (0,42 %). Аналогичная закономерность отмечается и в остальные сезоны года.

Ключевые слова: черно-пестрая порода коров, молочная продуктивность коров, кормление коров, продукты пчеловодства, пчелиный подмор, состав молока коров, технологические свойства молока коров, сычужная свертываемость.

Цитирование: Хабибуллин И. М., Илларионова О. В., Миронова И. В., Хабибуллин Р. М. Изменение технологических свойств молока при использовании пчелиного подмора. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 355-362. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-39.

Авторский вклад. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для решения вопроса увеличения производства молочной продукции и повышения её качества решающее значение отводится кормлению коров. Применение в составе их рациона нетрадиционных добавок, по своей биологической ценности близких к традиционным, способных повысить полноценность их кормления, улучшить обмен веществ в их организме, является актуальным направлением исследования [1-3].

В последние годы ученые ведут активный поиск новых источников природного происхождения с разработкой технологии их скармливания. К их числу следует отнести отходы пчеловодства, в частности пчелиный подмор [4-6].

Пчелиный подмор – это тела мертвых пчел. Он является одним из биологически активных продуктов пчеловодства, который до настоящего времени остается недостаточно исследованным. Медоносные пчелы, создавая уникальные продукты, содержащие богатый комплекс биологически активных веществ, также представляют собой источник данных

компонентов. В состав подмора пчёл входит до 50 % белков, минеральные вещества, витамины, флавоноиды, меланин, гепарин и другие вещества, которые нормализуют окислительно-восстановительные процессы, регулируют углеводно-жировую и белковый баланс, способны связывать и выводить из организма вредные вещества, а также обладают уникальными физико-химическими, радиопротекторными, сорбционными и иммуностимулирующими свойствами [7, 8].

Материал и методы. Производство молока осуществлялось в условиях ООО «Агро-Альянс» Чишминского района Республики Башкортостан от 40 коров чёрно-пёстрой породы, разделённых по принципу групп-аналогов на четыре группы по 10 гол. в каждой. Деление было связано с тем, чтобы оценить влияние разных дозировок настойки пчелиного подмора на состав и свойства молока и определить оптимальную норму ее использования. Первые 10 животных были отнесены к контрольной (I) группе, остальные 30 – к опытным, соответственно II, III и IV группы. Для 10 коров II опытной группы настойку пчелиного подмора вводили из расчета 0,005 мл на 1 кг массы тела животного, для III – 0,01 мл и IV – 0,015 мл соответственно. Указанный объём настоек для каждого животного растворяли в 200 мл воды и задавали с питьём в утренние часы. Длительность приема настойки составляла 14 дней, через 14 дней прием возобновляли. Все животные, участвующие в эксперименте, получали одинаковые рационы кормления, их балансирование осуществлялось по детализированным нормам в программе «Рацион+». Программа помимо расчёта питательности рациона позволяет осуществлять планирование заготовок и расхода кормов для различных периодов их содержания. Рационы составляли для пастбищного и стойлового периода. В пастбищный период рацион был представлен на 73,81 % сочными кормами и на 26,19 % концентрированными, в стойловый – на 23,99 % грубыми, на 36,00 % сочными и на 40,01 % концентрированными. В весенне-летний период рацион состоял из травы злаково-бобовой смеси (73 кг), ячменя (2,0 кг), овса (2,5 кг), жмыха подсолнечного (1,0 кг), соли поваренной (0,13 г/кг), моносодияфосфата кормового (0,17 г/кг), тривитамина (1,0 МЕ/мл), в осенне-зимний – сенажа люцернового (12 кг), соломы ячменной (0,5 кг), силоса кукурузного (34 кг), ячменя (1,9 кг), овса (2,5 кг), жмыха подсолнечного (2,0 кг), патоки кормовой (2,2 кг), соли поваренной (0,15 г/кг), моносодияфосфата кормового (0,11 г/кг), премикса П60-3 (0,05 кг), тривитамина (0,45 МЕ/мл).

В период проведения опыта у коров чёрно-пёстрой породы ежемесячно по контрольным дойкам оценивали молочную продуктивность за 100 и 305 сут. лактации. Оценку качества молока проводили в пробах, отобранных от пяти животных из каждой группы, в условиях лаборатории технологии молока и молочных продуктов кафедры технологии мясных, молочных продуктов и химии ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. Исследования молока осуществляли по сезонам года.

Образцы молока, отобранные для определения физико-химических и микробиологических параметров в соответствии ГОСТ 26809.1-2014, перемешивали, перевернув посуду, нагревали до температуры 20 ± 2 °С. Образцы со слоем жирового осадка нагревали до 35-40 °С на водяной бане 48 ± 2 °С, перемешивали и охлаждали до 20 ± 2 °С. Для установления в молоке массовой доли белка применяли отечественный ультразвуковой анализатор «Клевер» (модификация 2М), а также метод Кельдаля по ГОСТ 34454; казеина – метод формольного титрования, его фракций – электрофорезом по методике, предложенной Дейвисом и Орнстейном (Davis D. J. 1964, Ornstein L., 1964).

Сыропригодность устанавливали путем проведения пробы на скорость свертывания сычужным ферментом, выполняемой в приборе ВНИИМСа, а также проведением дополнительной сычужно-броидильной пробы, характеризующей способность молока к свертыванию.

Результаты экспериментальных данных подвергали математической статистической обработке по трём уровням вероятности Р согласно таблице Стьюдента. Животные обслуживались по инструкциям и рекомендациям Russian Regulations, а также Washington. В ходе исследований были предприняты усилия для минимального страдания животных и наименьшего числа используемых образцов.

Результаты и обсуждение. На начальном этапе оценили молочную продуктивность коров за 305 дней лактации. Было установлено, что более высокие значения продемонстрировали животные III и IV (опытной) группы, составив соответственно 9162,40 кг и 9134,85 кг, а минимальные значения – сверстницы I (контрольной) группы – 8794,96 кг и II (опытной) группы – 8966,79 кг.

Изучение массовой доли белка по сезонам года указывают на изменения как в сезонном, так и межгрупповом аспекте (рисунок 1).

Из представленных данных следует отметить, что массовая доля белка в зимний период характеризовалась максимальными значениями (3,25-3,33 %), в весенний период – минимальными – (3,14-3,16 %), в летний и осенний периоды промежуточными показателями (3,14-3,21 %) и (3,17-3,23 %).

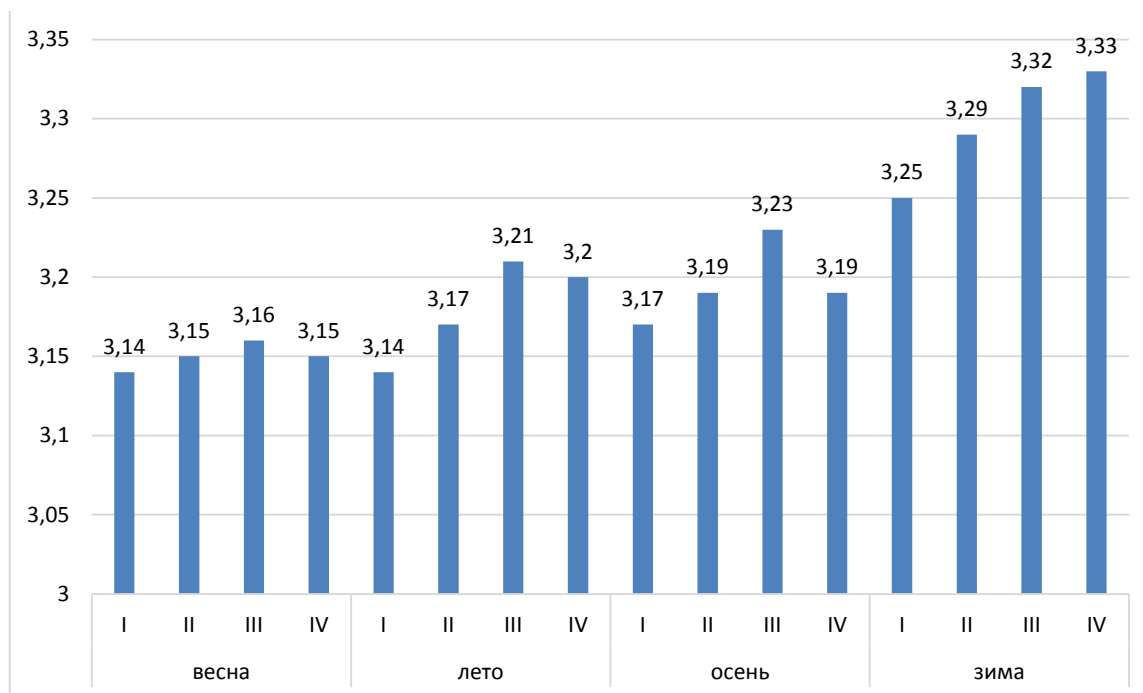


Рисунок 1 – Динамика изменения массовой доли белка, %

Figure 1 – Dynamics of changes in protein mass fraction, %

Предыдущие исследования показали, что настойка пчелиного подмора оказала положительный эффект на обменные процессы, молочную продуктивность, состав молока, а следовательно, и содержание в нем белка. Весной в молоке животных опытных групп данный показатель повышался относительно контрольной пробы молока на 0,01-0,02 %, летом – на 0,03-0,07 % ($P \leq 0,05$), осенью – на 0,02-0,06 %, зимой – на 0,04-0,08 % ($P \leq 0,05$). В основном лидерство принадлежало образцам животных III и IV (опытных) групп, потребляющие среднюю и максимальную дозировку биологически активного вещества пчелопродукта.

Т. А. Остроумова (2014) в своих трудах отмечает, что «основной структурный компонент белков молока – казеин. Он представлен четырьмя основными фракциями: $\alpha S1$, $\alpha S2$, β и κ (альфа-, бета- и каппа-казеинами). Выделяемый γ -казеин является фрагментом β -казеина. Эти фракции имеют различный аминокислотный состав и отличаются друг от друга заменой одного или двух аминокислотных остатков в полипептидной цепи. Все фракции казеина друг от друга отличаются количеством фосфорных остатков, входящих в молекулу казеина» [9].

Тенденция по содержанию казеина во все сезоны года была аналогичной с общим содержанием белка (рисунок 2).

Молоко I (контрольной) группы весеннего периода содержало 2,56 % казеина, что ниже, чем у аналогов II-IV (опытных) групп на 0,01-0,02 %, летнего – 2,53 % и 0,06-0,07 %, осеннего – 2,57 % и 0,01-0,04 %, зимнего – 2,67 % и 0,03-0,07 % ($P \leq 0,05$), с преимуществом животных III (опытной) группы.

Изучение качества и структуры фракций казеина весьма важно, поскольку они участвуют в образовании казеинового сгустка при производстве сыров [9, 10].

Образование сгустка происходит преимущественно за счет α - и β -фракций казеина. В нашем эксперименте было установлено, что максимальное содержание данных фракций приходилось на зимний период (1,00-1,04 % и 1,45-1,51 %), а минимальное – на летний

(1,40-1,41 %). Анализируя фракции казеина α , β , нельзя не отметить превосходств проб животных опытных групп над сверстницами контрольной группы. Достаточно отметить, что в зимний период лидерство коров II (опытной) группы над аналогами I (контрольной) группы по α -фракции казеина составляло 0,02 % ($P \leq 0,05$), β -фракции – 0,04 % ($P \leq 0,05$), III (опытной) группы – 0,04 % ($P \leq 0,001$) и 0,05 ($P \leq 0,01$) и IV (опытной) группы – 0,04 % ($P \leq 0,01$) и 0,06 ($P \leq 0,01$), соответственно.

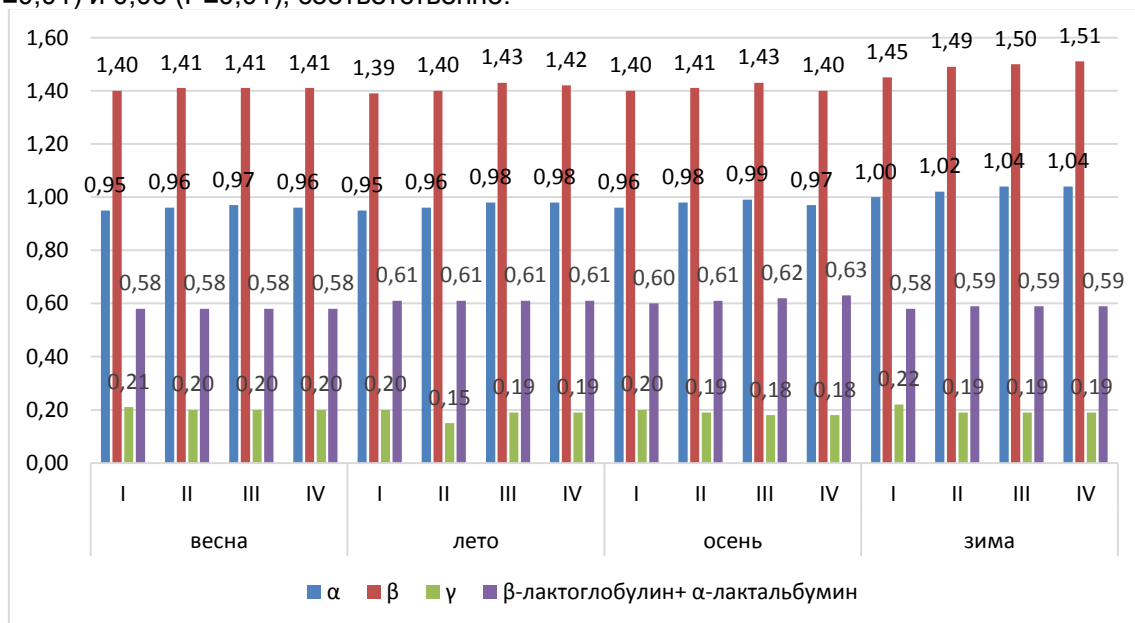


Рисунок 2 – Составные части белка молока, %
Figure 2 – Components of milk protein, %

Характеризуя γ -фракцию казеина, также как и сумму сывороточных белков (альбумина и глобулина), следует отметить их стабильность как по сезонам, так и по группам. В тоже время прослеживается незначительное снижение γ -фракции казеина в молоке коров, потребляющих пчелиный подмор в виде настойки. Считаем, что установленная закономерность является положительной тенденцией, поскольку белки фракции γ -казеина, также как и сывороточные белки, не свертываются под воздействием сычужного фермента и переходят в сыворотку. Кроме того, снижение γ -казеина в молоке свидетельствует о снижении содержания соматических клеток в молоке, что соотносится с данными представленными ранее. Сходные результаты получены в работе Н. В. Соболевой и др. (2020) [10].

При характеристике свойств молока для дальнейшего мы провели анализ структуры казеиновых фракций белка (таблица 1).

Таблица 1 – Структура казеиновых фракций белка, %
Table 1 – Structure of casein protein fractions, %

Группа / Group	Сезон года / Season of the Year	% казеина / % casein	В том числе / Including		
			α	β	γ
I	весна / spring	81,64	37,10	54,72	8,18
	лето / summer	80,46	37,38	54,76	7,85
	осень / autumn	81,05	37,49	54,57	7,94
	зима / winter	82,15	37,57	54,21	8,22
II	весна / spring	81,57	37,32	54,74	7,94
	лето / summer	80,64	37,52	54,87	7,61
	осень / autumn	80,82	37,80	54,83	7,37
	зима / winter	82,07	37,95	55,05	7,00
III	весна / spring	81,64	37,47	54,81	7,72
	лето / summer	80,88	37,83	54,93	7,24
	осень / autumn	80,74	38,08	54,99	6,93
	зима / winter	82,34	38,12	54,93	6,95
IV	весна / spring	81,48	37,45	54,78	7,77
	лето / summer	80,83	37,74	54,90	7,36
	осень / autumn	80,36	38,03	54,81	7,16
	зима / winter	82,38	38,04	54,97	6,99

Так, из представленных данных следует, что в летний период животные III (опытной) группы лидировали по доле α -казеина над контрольной группой – на 0,45 %; II (опытной) группы – на 0,31 %; и IV (опытной) – на 0,09 %, в зимний на – 0,55 %; 0,17 % и 0,08 %, весенний – на 0,37 %, 0,15 %, 0,02 %, осенний – на 0,59 %, 0,28 и 0,05 %, соответственно.

По содержанию β -казеина животные II (опытной) группы, в рацион которых включали пчелиный подмор в минимальной дозировке, в зимний сезон года имели преимущество над показателями сверстниц из контрольной и других опытных групп. Из таблицы следует, что на долю изучаемого показателя в данной группе приходилось 55,05 %, что выше, чем у аналогов I (контрольной) группы, на 0,84 %; III (опытной) группы – на 0,12 %; и IV (опытной) – на 0,08 %. В летний, осенний и весенний сезоны года доминирующие позиции животных III (опытной) группы сохранились. Важно отметить, что по γ -казеину животные I (контрольной) группы независимо от сезона года превосходили сверстников II; III и IV (опытных) групп. В весенний период разница в их пользу составляла 0,24-0,46 %, летний – 0,24-0,61 %, осенний – 0,57-1,01 % и зимний 1,22-1,27 %.

Сычужная свертываемость молока является одним из основных факторов при организации производства сыра. По сведениям А. А. Азановой и др. (2023) длительность образования сгустка должна быть 15-40 минут [11].

Исследованиями установлено, что в летний сезон у животных всех изучаемых групп фиксировалось минимальное время свертывания молока 28,88-30,19 мин., в зимний – максимальное (34,64-35,98 мин.), в весенний и летний период значения были промежуточными (32,91-34,00 мин. и 33,96-34,63 мин.) (рисунок 3).

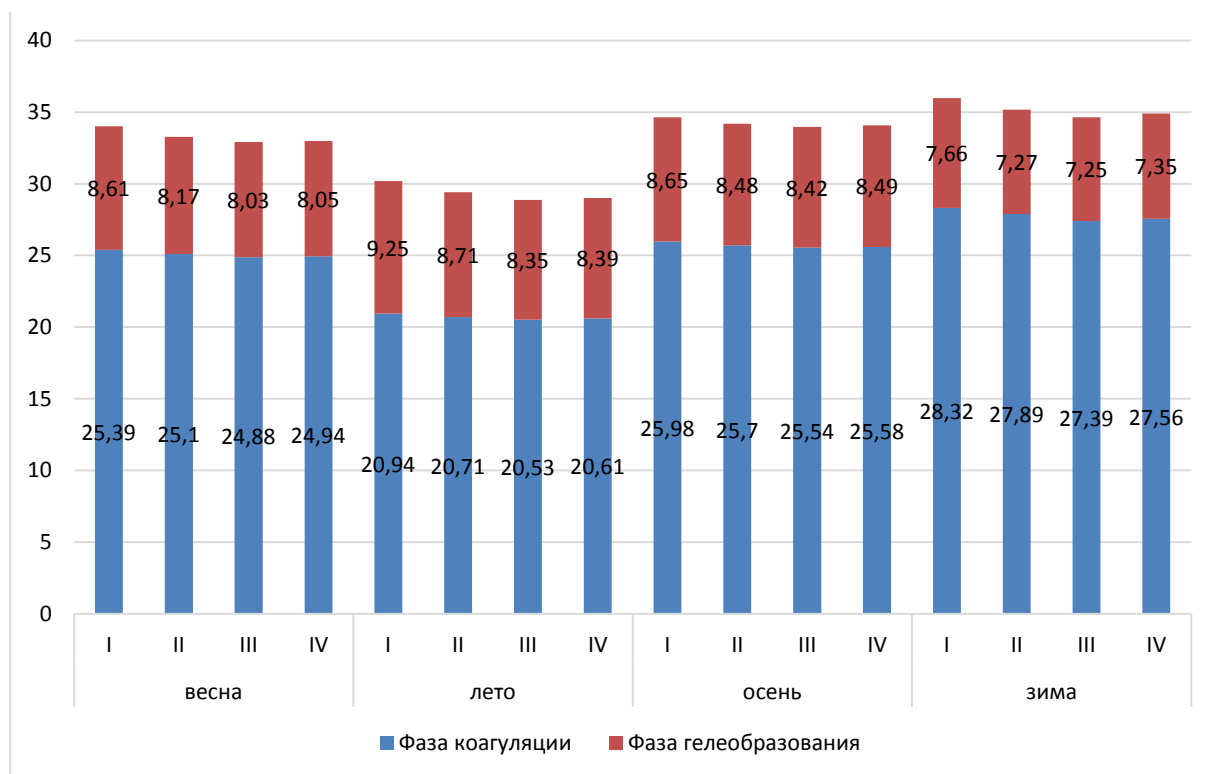


Рисунок 3 – Сычужная свертываемость молока (мин)
Figure 3 – Rennet coagulation of milk (min)

При сравнении групп в летний период молоко животных III (опытной) группы свертывалось за минимальное время, составив 28,88 мин., что меньше чем в образце I (контрольной) группы – на 1,31 мин. 4,54 % ($P \leq 0,05$), II (опытной) – на 0,54 мин. (1,87 %) и IV (опытной) – на 0,12 мин. (0,42 %). Аналогичная закономерность отмечается и в остальные сезоны года. Достаточно отметить, что в весенний сезон межгрупповая разница по общей продолжительности свертывания составляла 0,73-1,09 мин. (2,19-3,31 %; $P \leq 0,05$), осенний – 0,46-0,67 мин. (1,35-1,97 %), зимний – 0,82-1,34 мин. (2,33-3,87 %; $P \leq 0,05$).

Нельзя не отметить, что в течение всех сезонов года как фаза коагуляции, так и фаза гелеобразования в молоке коров I (контрольной) группы расходует более длительное время на сычужную свертываемость молока, что, в свою очередь, отражается на качественных показателях сыра. Так, в весенний сезон фаза коагуляции в образце молока I (контрольной) группы длилась 25,39 мин., что дольше, чем у аналогов II-IV (опытных) групп, на 0,29-0,51 мин. (1,16-2,05 %), фаза гелеобразования – 8,61 мин., что дольше на 0,44-0,58 мин. (5,39-7,22 %), летний – 20,94 мин. с разницей 0,23-0,41 мин. (1,11-2,00 %) и 9,25 мин. с разницей 0,54-0,90 мин. (6,20-10,78 %), осенний – 25,98 мин с разницей 0,28-0,44 мин. (1,09-1,72 %) и 8,65 мин. с разницей 0,16-0,23 мин. (1,88-2,73 %), зимний – 28,32 мин. с разницей 0,43-0,93 мин. (1,54-3,28 %) и 7,66 мин. с разницей 0,31-0,41 мин. (4,22-5,66 %), соответственно.

Для установления группы сыропригодности под воздействием сычужного фермента молоко подвергают свертыванию, в результате чего подразделяют на 3 группы: совсем не свертывающееся или медленно свертывающееся, нормально свертывающееся (15-40 мин.), быстро свертывающееся (до 15 мин.). В нашем опыте все образцы молока были отнесены ко второй группе сыропригодности.

Заключение. Исходя из вышесказанного включение в рацион животных опытных групп настойки пчелиного подмора в различной дозировке оказывает благоприятное действие на технологические свойства молока, прежде всего белковыми составляющими и их свойствами относительно образования сгустка – свертываемости под воздействием сычужного фермента. Это имеет решающее значение при оценке эффективности использования молока для переработки за счет повышения использования компонентов молока и их перехода в готовый продукт.

Conclusions. Based on the above, the inclusion of bee dead tincture in various dosages in the diet of animals in the experimental groups has a beneficial effect on the technological properties of milk, primarily protein components and their properties regarding clot formation – coagulation under the influence of rennet. This is of decisive importance when assessing the efficiency of milk use for processing, due to the increased use of milk components and their transition to the finished product.

Библиографический список

1. Горлов И. Ф. и др. Оценка современного состояния молочного производства в России. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 189-197.
2. Юлдашбаев Ю. А. и др. Молочная продуктивность коров-первотёлок чёрно-пёстрой, голштинской пород разной селекции и их помесей. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (62). С. 107-112.
3. Слинкин А. А., Миронова И. В., Крупина О. В., Благов Д. А. Динамика физико-химических и микробиологических показателей цельного молока-сырья при ультрафильтрации. Биомика. 2023. Т. 15. № 4. С. 291-296.
4. Dementyev E. P., et al. The application of physical and biological stimulants in livestock breeding. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. No 13 (S10). Pp. 8325-8330.
5. Крупина О. В. и др. Влияние адаптогенов на состав и свойства молока коров-первотёлок. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (99). С. 288-294.
6. Khabibullin R. M., et al. Morphofunctional changes in the kidneys of mice with the use of adaptogens against the background of physical exertion. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020. 012052.
7. Смирнова В. В. Живительная сила пчелиного помора. Пчеловодство. 2007. № 6. С. 54-57.
8. Иссе М. Я., Маннапова Р. Т. Биологическая активность экстракта пчелиного подмора. Пчеловодство. 2016. № 6. С. 53-55.
9. Остроумова Т. А. Химия и физика молока: монография. Воронеж: Воронежский ГУИТ, 2014. 196 с.
10. Соболева Н. В., Карамаев С. В., Карамаева А. С. Влияние массовой доли фракции γ -казеина в общей структуре белков на химический состав молока. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 56-60.
11. Азанова А. А., Харлап С. Ю., Горелик О. В. Технологические свойства молока коров разных пород. Молодежь и наука. 2023. № 4.

References

1. Gorlov I. F., et al. Assessment of the current state of dairy production in Russia. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 2 (54). Pp. 189-197.
2. Yuldashbaev Y. A., et al. Milk productivity of first-calf cows of black-and-white and Holstein breeds of different selection and their crossbreeds. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2022. № 2 (62). Pp. 107-112.
3. Slinkin A. A., Mironova I. V., Krupina O. V., Blagov D. A. Dynamics of Physicochemical and Microbiological Indicators of Raw Whole Milk under Ultrafiltration. Biomics. 2023. V. 15. № 4. Pp. 291-296.
4. Dementyev E. P., et al. The application of physical and biological stimulants in livestock breeding. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. No 13 (S10). Pp. 8325-8330.
5. Krupina O. V., et al. Effect of adaptogens on the composition and properties of milk of first-calf cows. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2023. № 1 (99). Pp. 288-294.

6. Khabibullin R. M., et al. Morphofunctional changes in the kidneys of mice with the use of adaptogens against the background of physical exertion. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020. 012052.

7. Smirnova V. V. The life force of the dead bees. Apiculture. 2007. № 6. Pp. 54-57.

8. Isse M. Ya., Mannapova R. T. Biological activity of dead bees' extract. Apiculture. 2016. № 6. Pp. 53-55.

9. Ostroumova T. A. Chemistry and Physics of Milk: Monograph. Voronezh: Voronezh GUIT, 2014. 196 p.

10. Soboleva N. V., Karamaev S. V., Karamaeva A. S. Influence of the mass fraction of γ -casein fraction in the total structure of proteins on the chemical composition of milk. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2020. № 4. Pp. 56-60.

11. Azanova A. A., Kharlap S. Yu., Gorelik O. V. Technological properties of milk of cows of different breeds. Youth and Science. 2023. № 4.

Информация об авторах

Хабибуллин Ильмир Муллахметович, кандидат биологических наук, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), <https://orcid.org/0000-0003-2117-6825>, e-mail: ilmir.khabibullin.91@bk.ru

Илларионова Ольга Владимировна, аспирант, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет (Российская Федерация, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), <https://orcid.org/0000-0004-5365-1955>, e-mail: sov-chocoladka@mail.ru

Миронова Ирина Валерьевна, заведующая кафедрой, доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), Уфимский государственный нефтяной технический университет (Российская Федерация, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), <https://orcid.org/0000-0002-5948-9563>, e-mail: mironova_irina-v@mail.ru

Хабибуллин Рузель Муллахметович, заведующий кафедрой, кандидат биологических наук, доцент, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), <https://orcid.org/0000-0003-3437-9381>, e-mail: ruzel-msmk@bk.ru

Authors' Information

Khabibullin Ilmir Mullakhmetovich, Candidate of Biological Sciences, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya str., 34), <https://orcid.org/0000-0003-2117-6825>, e-mail: ilmir.khabibullin.91@bk.ru

Illarionova Olga Vladimirovna, Post-graduate student, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya str., 34), Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University (Russian Federation, 450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov St., 1), <https://orcid.org/0000-0004-5365-1955>, e-mail: sov-chocoladka@mail.ru

Mironova Irina Valerievna, Head of Department, Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya str., 34), Ufa State Petroleum Technological University (Russian Federation, 450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov St., 1), <https://orcid.org/0000-0002-5948-9563>, e-mail: mironova_irina-v@mail.ru

Khabibullin Ruzel Mullakhmetovich, Head of Department, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya str., 34), <https://orcid.org/0000-0003-3437-9381>, e-mail: ruzel-msmk@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-40

THE EVALUATION OF THE EFFECT OF THE FEED ADDITIVE «BIOSPECTR 2B» ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF LABORATORY ANIMALS

**Ushakov M. A., Nikolaev S. I., Sonichev B. E., Vorontsova E. S., Shkalenko V. V.,
Chehranova S. V.**

*Volgograd State Agrarian University Volgograd
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: volgau-ushakov@yandex.ru

Received 19.03.2025

Submitted 22.05.2025

*The research was conducted within the framework of the agreement dated 06/05/2024,
Afidmix Rus LLC.*

Summary

Ensuring feed safety is an important aspect of producing safe animal feed, as well as protecting consumers and the environment. Although each country has its own regulatory indicators regarding feed safety, clear standards for different types of livestock are not always defined. The main focus in this case is on controlling the content of heavy metals, mycotoxins and pesticides. In a study on laboratory mice, the presence or absence of acute toxicity of the feed additive "BioSpectr 2B" was determined, feed intake, clinical signs and autopsy results were evaluated.

Abstract

Introduction. The growth rate and general health of animals can significantly deteriorate when using substandard or dangerous feed. This underlines the importance of strict control over the safety of the feed supply, which directly affects the health of animals and, as a result, the quality of animal products for humans.

Thus, a systematic study of the toxicity of feed and its components in accordance with regulatory requirements is a prerequisite for ensuring animal health and food safety. The purpose of our work was to determine the acute toxicity of the feed additive "BioSpectr 2B". Acute toxicity was determined by the fixed dose method in Wistar rats (female). **The object** of the study was the feed additive "BioSpectr 2B" to normalize digestive processes, increase productivity and safety of farm animals, including poultry. **Materials and methods.** The acute toxicity study consisted of the following stages: selection of clinically healthy laboratory rats of the Wistar line; single intragastric administration of the maximum dose of a feed additive – 2000 mg/kg; taking into account the amount of feed and water consumed; analyzing the dynamics of body weight changes; determining the presence or absence of clinical signs of animal intoxication when receiving the feed additive "BioSpectr 2B"; conducting an autopsy followed by an examination of the internal organs of animals; determining the hazard class of the feed additive "BioSpectr 2B". **Results and conclusions.** The results obtained during the study of the acute toxicity of the feed additive "BioSpectr 2B" with a single intragastric injection at a dose of 2000 mg/kg to female laboratory rats indicate the absence of toxic effects of this feed additive. There were no clinical signs of acute intoxication, fatal outcomes, or pathological changes within two weeks after intragastric administration of a dose of 2000 mg/kg into the stomach through a probe. Based on the data obtained during the scientific study, it can be concluded that the feed additive is well tolerated and has no toxic effects on animals, namely female laboratory rats. Since there were no deaths in experimental Wistar rats when the test object was administered at a dose of 2000 mg/kg, the LD₅₀ value (acute oral average lethal dose) exceeded 2000 mg/kg, therefore, the BioSpectr 2B feed additive can be classified as GHS toxicity class 5 (2000-5000 mg/kg).

Keywords: feed toxicity, laboratory animals, feed additives, safe feed additives, feed quality control.

Citation. Ushakov M. A., Nikolaev S. I., Sonichev B. E., Vorontsova E. S., Shkalenko V. V., Chehranova S. V. The evaluation of the effect of the feed additive «BioSpectr 2B» on the growth and development of laboratory animals. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 362-372 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2025-03-40.

Author's contribution. The team of authors represented in this publication actively participated in the development of the research concept, its implementation and the subsequent analysis of the data obtained. Each of the authors of the article reviewed the final version of the paper and expressed their agreement with its content.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 619:636.087.7

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ "БИОСПЕКТР 2Б" НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Ушаков М. А., кандидат сельскохозяйственных наук
Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Сонищев Б. Е., кандидат биологических наук
Воронцова Е. С., кандидат биологических наук
Шкаленко В. В., доктор биологических наук, доцент
Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора с компанией ООО «Афидмикс Рус» от 05.06.2024 г.

Актуальность. Темпы роста и общее состояние здоровья животных могут значительно ухудшиться при использовании некачественных или опасных кормов. Это подчеркивает важность строгого контроля за безопасностью кормовой базы, который напрямую влияет на здоровье животных и, как следствие, на качество продуктов животного происхождения для человека. Таким образом, систематическое изучение токсичности кормов и их компонентов в соответствии с нормативными требованиями является необходимым условием обеспечения здоровья животных и безопасности пищевой продукции. **Целью** нашей работы было определение острой токсичности кормовой добавки "Биоспектр 2В". Острую токсичность определяли методом фиксированной дозы у крыс линии Wistar (самки). **Объектом** исследования явилась кормовая добавка "Биоспектр 2В" для нормализации процессов пищеварения, повышения продуктивности и сохранности сельскохозяйственных животных, в том числе птицы. **Материалы и методы.** Исследование острой токсичности состояло из следующих этапов: отбор клинически здоровых лабораторных крыс линии Wistar; однократно внутрижелудочное введение максимальной дозы кормовой добавки – 2000 мг/кг; проведение учёта количества потребленного корма и воды; анализ динамики изменения массы тела; определение наличия или отсутствия клинических признаков интоксикации животных при получении кормовой добавки «Биоспектр 2В»; проведение аутопсии с последующим осмотром внутренних органов животных; определение

класса опасности кормовой добавки «БиоСпектр 2Б». **Результаты и выводы.** Результаты, полученные в ходе проведения исследования острой токсичности кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» при однократном внутрижелудочном введении в дозе 2000 мг/кг самкам лабораторных крыс, свидетельствуют об отсутствии токсического влияния данной кормовой добавки. Клинические признаки острой интоксикации, летальные исходы, а также патологоанатомические изменения в течение двух недель после внутрижелудочного введения через зонд дозы 2000 мг/кг в желудок отсутствовали. Исходя из полученных данных в ходе научного исследования, можно сделать вывод о хорошей переносимости кормовой добавки и отсутствии токсического влияния на животных, а именно самок лабораторных крыс. Поскольку при введении исследуемого объекта в дозе 2000 мг/кг летальные исходы подопытных крыс линии Wistar отсутствовали, величина LD₅₀ (острая пероральная средняя летальная доза) превысила 2000 мг/кг, следовательно, кормовую добавку «БиоСпектр 2Б» можно отнести к 5 классу токсичности по СГС (2000-5000 мг/кг).

Ключевые слова: токсичность кормов, лабораторные животные, кормовые добавки, безопасные кормовые добавки, контроль качества кормов.

Цитирование. Ушаков М. А., Николаев С. И., Соничев Б. Е., Воронцова Е. С., Шкаленко В. В., Чехранова С. В. Оценка влияния кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» на рост и развитие лабораторных животных. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 362-372. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-40.

Авторский вклад. Авторский коллектив, представленный в данной публикации, активно участвовал в разработке концепции исследования, его реализации и последующем анализе полученных данных. Каждый из авторов статьи ознакомился с финальной версией работы и выразил свое согласие с ее содержанием.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Безопасность кормов – важнейшее условие производства качественных продуктов животного происхождения, гарантирующее их безвредность для потребителей и окружающей среды [3, 8]. Стремительный рост населения планеты закономерно увеличивает спрос на животноводческую продукцию, однако недостаточный контроль за составом кормов способен подорвать доверие к ней. Это не только нанесёт удар по отрасли, но и поставит под угрозу здоровье миллионов людей [2].

Безопасные корма – залог крепкого здоровья и высокой продуктивности животных. Их использование не только соответствует требованиям ветеринарного законодательства, но и обеспечивает этическое и устойчивое животноводство [4, 7].

Современные технологии производства кормов должны минимизировать нагрузку на экосистемы. Особую опасность представляют микотоксины, чьё распространение усугубляется глобальным потеплением. В периоды повышенной влажности и жары необходим строгий мониторинг их содержания в кормовых смесях [1, 5, 10].

Рост стоимости традиционных кормовых ингредиентов стимулирует поиск альтернативных решений. Однако их внедрение требует тщательной оценки безопасности, чтобы не допустить новых рисков для животных, людей и природы.

Все вышеперечисленные аспекты подчеркивают важность управления безопасностью кормов в условиях изменений в экосистеме и животноводческой отрасли.

Разные страны мира разработали строгие нормативы, регулирующие безопасность кормов. Эти правила направлены на контроль содержания опасных веществ – тяжелых металлов, микотоксинов и пестицидов, – которые способны накапливаться в кормовых ингредиентах и провоцировать тяжелые отравления как у животных, так и у конечных потребителей продукции [6, 9].

Для каждого потенциально вредного компонента установлены предельно допустимые уровни, однако их значения варьируются в зависимости от национальных стандартов. Такие меры призваны не только защитить здоровье сельскохозяйственных животных, но и обеспечить безопасность пищевой цепочки для человека.

В таблице 1 представлены целевые опасные материалы и их безопасные уровни для определенных видов кормов.

Корма, содержащие тяжелые металлы, пестициды и меламин, представляют серьезную опасность не только для животных, но и для человека. Попадая в организм скота и птицы, эти вредные вещества накапливаются в мясе, молоке, яйцах и других продуктах животного происхождения, создавая угрозу для здоровья потребителей. Микотоксины, содержащиеся в кормах, также широко распространены по всему миру.

Таблица 1 – Основные нормативы токсичных веществ в кормах для животных
Table 1 – Basic standards of toxic substances in animal feed

Наименование показателя / Name of the indicator	Зерно кормовое мг/кг / Fodder grain mg/kg	Комбикорма гранулиро- ванные для с.-х. животных мг/кг / Granulated mixed fodder for animal mg/kg	Комбикорма гранулиро- ванные для с.-х. птицы мг/кг / Granulated mixed fodder for. poultry mg/kg	Мелкие животных мг/кг / Small animals mg/kg
1	2	3	4	5
Ртуть, мг/кг, не более / Mercury, mg/kg, not more than	0,1	0,05	0,05	0,34
Кадмий, мг/кг, не более / Cadmium, mg/kg, not more than	0,5	0,3	0,3	2,27
Свинец, мг/кг, не более / Lead, mg/kg, not more than	5,0	3,0	3,0	5,68
Мышьяк, мг/кг, не более / Arsenic, mg/kg, not more than	2,0	0,5	1,0	2,27
для кормов, содержащих рыбу, морепро- дукты, водоросли и/или продукты их пе- реработки / for feed containing fish, seafood, algae and/or products thereof	-	-	-	11,36
Медь, мг/кг, не более / Copper, mg/kg, not more than	-	-	-	90,91
Цинк, мг/кг, не более / Zinc, mg/kg, not more than	-	-	-	568,18
Нитраты / Nitrates	-	500	500	-
Нитриты / Nitrites	-	10	10	-
Афлатоксин В1, мг/кг, не более* / Aflatoxin B1, mg/kg, not more than*	0,02	0,05	0,025	0,01
Охратоксин А / Ochratoxin A	0,05	-	0,3	-
Т-2 токсин / T-2 toxin	0,1	0,1	0,1	-
Дезоксиниваленол / Deoxynivalenol	1,0	1,0	1,0	-
Зеараленон / Zearalenone	1,0	-	-	-
Патулин / Patulin	-	-	0,05	-
Фумонизин (кукуруза) / Fumonisin (corn)	5,0	-	-	-
Альдрин (одного или в сумме с дильдри- ном), мг/кг, не более * / Aldrin (alone or in total with dieldrin), mg/kg, not more than *	-	-	-	0,01
Хлордана (сумма цис*, транс- изомеров и оксихлордана), мг/кг, не более * / Chlordane (sum of cis*, trans isomers and oxychlordane), mg/kg, not more than *	-	-	-	0,02
Дихлордифенил трихлорметилметан (ДДТ) и его метаболиты, мг/кг, не более * / Dichlorodiphenyl trichloromethylmethane (DDT) and its metabolites, mg/kg, not more than *	0,05	-	-	0,06
Эндосульфат (сумма альфа-, бета изоме- ров и эндосульфатсульфат), мг/кг, не бо- лее * / Endosulfan (sum of alpha and beta isomers and endosulfan sulfate), mg/kg, not more than *	-	-	-	0,11

Наименование показателя / Name of the indicator	Зерно кормовое мг/кг / Fodder grain mg/kg	Комбикорма гранулиро- ванные для с.-х. животных мг/кг / Granulated mixed fodder for animal mg/kg	Комбикорма гранулиро- ванные для с.-х. птицы мг/кг / Granulated mixed fodder for poultry mg/kg	Мелкие животных мг/кг / Small animals mg/kg
1	2	3	4	5
Эндрин (сумма эндрина и дельта- кетоэн- дрина), мг/кг, не более * / Endrin (sum of endrin and delta-ketoendrine), mg/kg, not more than *	-	-	-	0,01
Гептахлор (сумма гептахлора и геп- тахлорэпоксида), мг/кг, не более* / Heptachlor (sum of heptachlor and heptachloroepoxide), mg/kg, not more than*	-	-	-	0,01
Гексахлорбензол, мг/кг, не более* / Hexachlorobenzene, mg/kg, not more than*	-	-	-	0,01
Диоксины, дибензфураны* (Нанограмм/кг) / Dioxins, dibenzfurans* (Nanograms/kg)	0,4	-	-	-
Диоксиноподобные полихлорированные бифенилы* (Нанограмм/кг) / Dioxin-like polychlorinated biphenyls* (Nanograms/kg)	0,2	-	-	-
Гексахлорциклогексан (сумма изомеров), мг/кг, не более * / Hexachlorocyclohexane (sum of isomers), mg/kg, not more than *	-	-	-	0,23
Альфа-изомер / Alpha isomer	0,02	-	-	-
Бета-изомер / Beta isomer	0,01	-	-	-
Гамма-изомер / Gamma isomer	0,2	-	-	-
2,4-Д кислота, ее соли, эфиры / 2,4-D acid, its salts, esters	0,6	-	-	-
Нитриты (в консервированных кормах), мг/кг, не более / Nitrites (in canned food), mg/kg, not more than	-	-	-	113,64
Токсичность / Toxicity	Не допускается / Not allowed			

К тяжелым металлам относятся мышьяк (As), свинец (Pb), ртуть (Hg), кадмий (Cd), хром, цинк (Zn), марганец (Mn) и кобальт (Co). Некоторые из этих металлов, такие как Zn, Mn и Co, необходимы для биологического метаболизма в качестве кофакторов ферментов. Однако другие тяжелые металлы, такие как As, Pb, Hg и Cd, могут быть вредными для людей и животных при высоком потреблении. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) включает As, Pb, Hg и Cd в список 10 наиболее опасных химических веществ, вызывающих серьезные проблемы общественного здравоохранения. Эти металлы плохо усваиваются и не выводятся из организма, что может привести к серьезным заболеваниям и даже смерти. Например, мышьяк легко обнаруживается в горных породах и почвах и используется в производстве пигментов и пестицидов. Он быстро накапливается в органах, таких как печень и почки. Свинец, который также широко используется в промышленности, может вызывать различные проблемы со здоровьем и накапливаться в костях и органах. Ртуть, известная своей высокой токсичностью, может вызывать повреждения почек, печени и нервной системы. Кадмий, образующийся в результате промышленной деятельности, также может вызывать серьезные заболевания, включая повреждения почек и печени.

Пестициды на протяжении многих лет активно используются в сельском хозяйстве для защиты растений и борьбы с насекомыми-вредителями. В животноводстве они применяются для контроля над вредителями, такими как красный клещ домашней птицы, кото-

рый может вызывать стресс и снижение яйценоскости у кур-несушек. Однако чрезмерное использование пестицидов может привести к их накоплению в продуктах животного происхождения, что создает риски для здоровья человека.

Микотоксины – это токсичные вещества, вырабатываемые грибами в кормах и продуктах питания. Существует более 200 известных микотоксинов, среди которых афлатоксин и дезоксиниваленол, которые могут негативно влиять на здоровье животных и человека. Рост грибов и заражение микотоксинами зависят от различных факторов, включая климатические условия и время сбора урожая.

Меламин – это органическое соединение, содержащее 67 % азота, и используемое в производстве различных промышленных товаров. Однако его употребление может привести к серьезным проблемам со здоровьем, включая почечную недостаточность. Известные случаи отравления меламином произошли в США и Китае, когда он был добавлен в корма и продукты для увеличения содержания белка.

Показатели роста и общее здоровье животных могут значительно ухудшаться при наличии в рационе опасных кормов. Это подчеркивает важность контроля за безопасностью кормов для обеспечения здоровья животных и, в конечном итоге, безопасности продуктов животного происхождения для человека.

Таким образом, исследование токсичности кормов и их компонентов должно осуществляться систематически в соответствии с нормативными документами.

Целью нашей работы было определение острой токсичности кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» методом фиксированной дозы на крысах линии Wistar (самки).

Материалы и методы. Для проведения исследований по определению класса токсичности кормовой добавки был выбран метод фиксированной дозы группе животных одного пола. В научных исследованиях использовали женские особи, так как они являются более чувствительными к воздействию токсикантов.

Объектом исследования являлась кормовая добавка «БиоСпектр 2Б» для нормализации процессов пищеварения, повышения продуктивности и сохранности сельскохозяйственных животных, в том числе птиц.

Исследование острой токсичности состояло из следующих этапов:

- отбор клинически здоровых лабораторных крыс линии Wistar;
- однократно внутрижелудочное введение максимальной дозы кормовой добавки – 2000 мг/кг;
- проведение учёта количества потребленного корма и воды;
- анализ динамики изменения массы тела;
- определение наличия или отсутствия клинических признаков интоксикации животных при получении кормовой добавки «БиоСпектр 2Б»;
- проведение аутопсии с последующим осмотром внутренних органов животных;
- определение класса опасности кормовой добавки «БиоСпектр 2Б».

В состав 1 кг кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» входят в качестве действующих веществ: живые спорообразующие бактерии *Bacillus subtilis* ВКМ-2711D – не менее $2,0 \times 10^9$ КОЕ/г, живые спорообразующие бактерии *Bacillus licheniformis* ВКМ В-2713D – не менее $2,0 \times 10^9$ КОЕ/г, в качестве вспомогательного вещества – наполнитель карбонат кальция – до 100 %.

Внешний вид кормовой добавки – порошок от светло-бежевого до темно-коричневого цвета.

Срок годности кормовой добавки – 24 месяца с даты производства.

Условия хранения – в закрытой упаковке производителя, в защищенном от солнечных лучей месте, при температуре от минус 10 °С до 40 °С и относительной влажности не более 75 %.

Биологические свойства кормовой добавки обусловлены компонентами, входящими в её состав. *Bacillus subtilis* активно участвуют в поддержании нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, способствуют нормализации процессов пищеварения. *Bacillus subtilis* в процессе жизнедеятельности способны синтезировать гидролитические ферменты (протеазу, амилазу, пектиназу и т.д.), основная цель которых – содействие в расщеплении нерастворимых фракций корма. *Bacillus licheniformis* также выделяют амилазу, способствующую расщеплению крахмала, благодаря чему усвоение высокоэнергетических компонентов корма происходит более полно. Компоненты кормо-

вой добавки создают благоприятные условия для развития нормальной микрофлоры кишечника, что непосредственно влияет на процессы пищеварения. Использование кормовой добавки способствует повышению сохранности и продуктивности сельскохозяйственных животных, в том числе птиц.

Номер партии – 20546780.

Дата производства – 01.02.2022.

Годеи до – 01.02.2024.

Производитель – ООО «АФИДМИКС РУС», Московская область, г.о. Солнечногорск, г. Солнечногорск, мкр. Рекинцо, стр. 2А, помещ. 2

Место проведения исследования – центр нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, г. Волгоград.

Изучение острой токсичности кормовой добавки было основано на принципах OECD «Guideline for Testing of Chemicals No 420 Acute Oral Toxicity – Fixed Dose Method» (2001).

Для проведения научного исследования были отобраны крысы линии Wistar в количестве 5 лабораторных животных (самки, возраст 7 недель). Масса животных составила 190-195 г. Период акклиматизации крыс перед исследованием составил 7 дней до начала введения тестируемого вещества, что позволило им привыкнуть к лабораторным условиям.

Лабораторные животные (крысы) содержались в условиях, необходимых для нормальной жизнедеятельности данного вида:

- температура воздуха: 20-22 °С;
- относительная влажность: 50-60 %;
- скорость воздухообмена: 15 объемов воздуха в час;
- освещение: искусственное в последовательности 12 часов – свет, 12 часов – темнота;
- высота клеток для содержания лабораторных животных: 20 см;
- площадь клеток на 1 животное – не менее 200 см²;
- напольное покрытие: подстилочный материал;
- кормление: только в светлое время суток;
- поение: неограниченное количество питьевой воды.

После присвоения индивидуальных номеров краской помечались хвосты крыс для дальнейшей идентификации. Клетка помечалась индикатором, также указывался номер животного и вводимая доза.

На протяжении научного исследования проводились регулярные осмотры животных для выявления наличия или отсутствия клинических признаков интоксикации организма или других физиологических отклонений. В первые сутки исследования осмотр осуществлялся в течение 30 минут после введения дозы, далее каждый час. Особое внимание уделялось первым 4 часам.

Масса тела фиксировалась до кормления животных в первый день исследования, затем через неделю и через две недели от начала исследования.

После проведенного исследования все животные подверглись эвтаназии и дальнейшей аутопсии для изучения внутренних органов крыс с регистрацией полученных данных.

Испытываемая кормовая добавка «БиоСпектр 2Б» вводилась путем внутрижелудочного введения дозы, смешанной с дистиллированной водой, с помощью зонда. Перед введением дозы животные были ограничены в пище (т.е. крыс не кормили с вечера), но вода была в свободном доступе. После голодания животных взвешивали, затем вводили испытываемую кормовую добавку «БиоСпектр 2Б». Расчет дозы зависел от массы тела лабораторного животного, в связи с этим для каждой крысы являлся индивидуальным. После введения испытываемой кормовой добавки крыс не кормили три-четыре часа.

Начальная доза для предварительного исследования подбирается из установленных уровней доз (5, 50, 300 и 2000 мг/кг) как доза, которая может оказаться токсичной на основе исследований данного препарата или структурно родственных веществ в опытах in vivo или in vitro (рисунок 1).

Состав кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» обуславливает отсутствие токсического влияния на организм, что доказано большим количеством научных данных. В связи с этим начальная доза для эксперимента на крысах выбрана 2000 мг/кг.

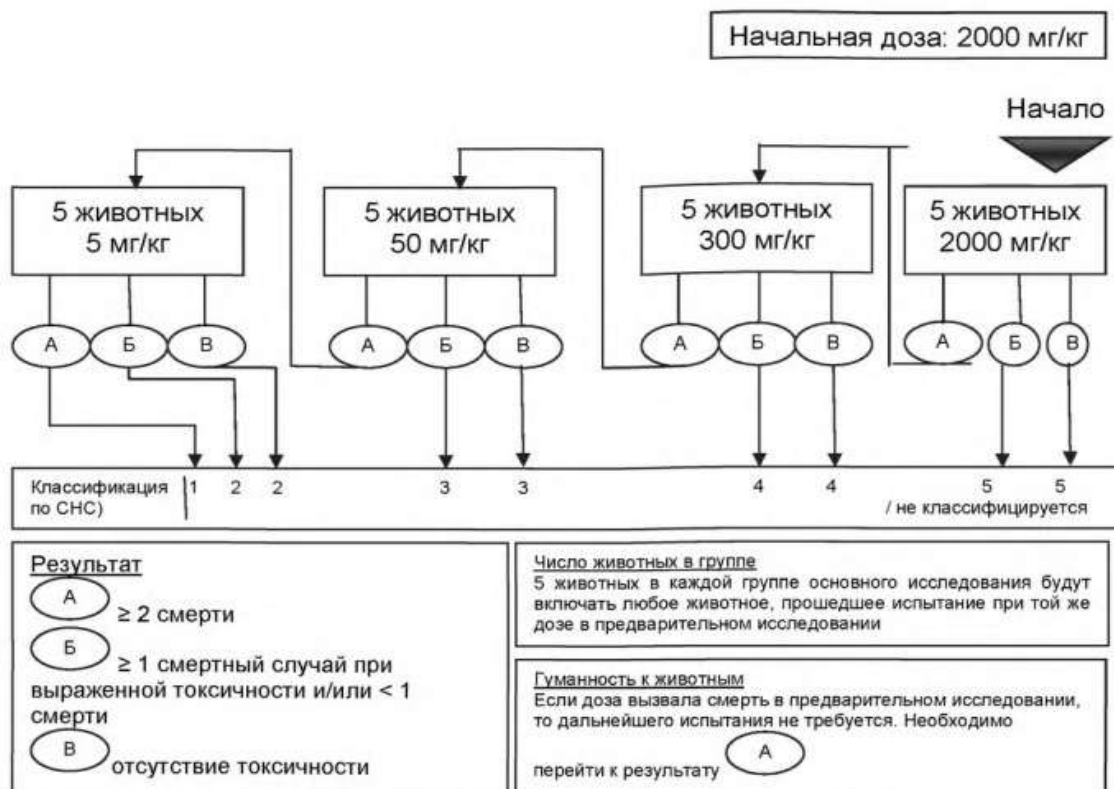


Рисунок 1 – Схема проведения исследования
Figure 1 – The scheme of the study

Результаты и обсуждение.

Пяти крысам вводили смесь кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» с дистиллированной водой в дозе 2000 мг/кг по массе тела каждой крысы, измеренной при опустошенном желудочно-кишечном тракте. В зависимости от токсического действия исследуемого объекта и полученных результатов было выбрано одно из трех действий:

- прекращение испытания и определение соответствующего класса опасности;
- проведение испытания с более высоким уровнем дозы;
- проведение испытания с более низким уровнем дозы.

В данном случае при исследовании острой токсичности кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» летальных случаев среди подопытных животных не выявлено. Эксперимент завершился определением соответствующего класса опасности, а именно данная кормовая добавка отнесена к 5 классу токсичности СГС (от 2000 до 5000 мг/кг). Повышение уровня дозировки выше 2000 мг/кг признано не гуманным и нецелесообразным.

В процессе научного исследования проводились осмотры животных для выявления наличия или отсутствия клинических признаков интоксикации организма или других физиологических отклонений как за первые сутки после введения кормовой добавки, так и за период следующих 14 дней.

При осмотре особое внимание обращали на следующие показатели: потребление корма и воды, изменения кожи, шерстного покрова, глаз, слизистых оболочек, появление выделений или экскреции и вегетативную активность (например, слезотечение, изменение размера зрачков, необычный характер дыхания), изменения походки, позы и реакции на обращение, а также наличие клонических или тонических движений, стереотипов (например, чрезмерный уход за шерстью, повторяющееся движение по кругу) или необычное поведение (например, самокалечение, хождение задом наперед).

Клинические признаки интоксикации, вследствие применения кормовой добавки в дозе 2000 мг/кг, отсутствовали в течение всего научного исследования. Отклонения в поведении лабораторных животных не обнаружены, аппетит и жажда соответствовали норме, состояние организма характеризовалось как стабильное.

Согласно методике исследования, нами проводилась фиксация сведений о потреблении животными корма и воды в 1, 7 и 14 дни. Все полученные данные находились в рамках физиологической нормы, значительные отличия не выявлены, что указывает на отсутствие влияния кормовой добавки, на потребление крысами корма и воды (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика потребления корма, г
Table 2 – Dynamics of feed consumption, g

Период / Period	Идентификационный номер крысы / Rat ID Number				
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
Динамика потребления корма / Dynamics of feed consumption					
1 день / day 1	20,10	20,25	20,00	20,29	20,37
7 день / day 7	21,38	21,46	21,41	21,59	21,58
14 день / day 14	22,30	22,34	22,28	22,47	22,52
Динамика потребления воды / Dynamics of water consumption					
1 день / day 1	31,3	30,4	30,7	31,5	31,0
7 день / day 7	33,5	33,6	32,5	34,7	34,1
14 день / day 14	36,5	36,7	35,5	37,9	36,6

Каких-либо отклонений по потреблению корма или воды у животных за весь период исследования выявлено не было.

Динамика изменения массы тела крыс в течение эксперимента представлена в таблице 3. Измерение проводилось перед кормлением в первый, седьмой и четырнадцатый дни. Статистически достоверной разницы между показателями не обнаружено.

Таблица 3 – Динамика массы тела, г
Table 3 – Dynamics of body weight, g

Период / Period	Идентификационный номер крысы / Rat ID Number				
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
1 день / day 1	193,7	193,5	194,0	193,8	194,1
7 день / day 7	202,8	203,6	203,8	205,9	205,8
14 день / day 14	211,7	212,4	212,8	211,9	212,6

Увеличение массы лабораторных животных соответствовало увеличению потребления воды и корма и не имело отклонений.

По истечении срока 14 дней была проведена аутопсия лабораторных животных с подведением итогов (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты вскрытия
Table 4 – Autopsy results

Идентификационный номер крысы / Rat ID Number	Вводимая доза, мг/кг / Administered dose, mg/kg	День вскрытия / Autopsy Day	Патологические изменения / Pathological changes
1-1	2000	15	Не обнаружены / Not detected
1-2	2000	15	Не обнаружены / Not detected
1-3	2000	15	Не обнаружены / Not detected
1-4	2000	15	Не обнаружены / Not detected
1-5	2000	15	Не обнаружены / Not detected

Во время патологоанатомического осмотра тканей и внутренних органов не обнаружено патологических изменений: слизистые оболочки – гладкие, бледно-розового цвета, без кровоизлияний; внутренние органы – по размеру, консистенции, плотности и цвету соответствовали норме.

Заключение. Результаты, полученные в ходе проведения исследования острой токсичности кормовой добавки «БиоСпектр 2Б» при однократном внутрижелудочном введении в дозе 2000 мг/кг самкам лабораторных крыс, свидетельствуют об отсутствии токсического влияния данной кормовой добавки. Клинические признаки острой интоксикации, летальные исходы, а также патологоанатомические изменения в течение двух недель после внутрижелудочного введения через зонд дозы 2000 мг/кг в желудок отсутствовали.

Исходя из полученных данных в ходе научного исследования можно сделать вывод о хорошей переносимости кормовой добавки и отсутствии токсического влияния на животных, а именно самок лабораторных крыс.

Поскольку при введении исследуемого объекта в дозе 2000 мг/кг летальные исходы подопытных крыс линии Wistar отсутствовали, величина LD₅₀ (острая пероральная средняя летальная доза) превысила 2000 мг/кг, следовательно, кормовую добавку «БиоСпектр 2Б» можно отнести к 5 классу токсичности по СГС (2000-5000 мг/кг).

Conclusions. The results obtained during the study of the acute toxicity of the feed additive "BioSpectr 2B" with a single intragastric injection at a dose of 2000 mg/kg to female laboratory rats indicate the absence of toxic effects of this feed additive. There were no clinical signs of acute intoxication, fatal outcomes, or pathological changes within two weeks after intragastric administration of a dose of 2000 mg/kg into the stomach through a probe.

Based on the data obtained during the scientific study, it can be concluded that the feed additive is well tolerated and has no toxic effects on animals, namely female laboratory rats.

Since there were no deaths in experimental Wistar rats when the test object was administered at a dose of 2000 mg/kg, the LD₅₀ value (acute oral average lethal dose) exceeded 2000 mg/kg, therefore, the BioSpectr 2B feed additive can be classified as GHS toxicity class 5 (2000-5000 mg/kg).

Библиографический список

1. Галаяутдинова Г. Г., Валиев А. Р., Сагдеева З. Х., Шлямина О. В. Об исследованиях кормов на общую токсичность в испытательном центре ФГБНУ "ФЦТРБ-ВНИВИ". Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2022. № 3.
2. Галаяутдинова Г. Г., Сагдеева З. Х., Шлямина О. В. Оценка общей токсичности кормов биотестированием на простейших и на лабораторных животных. Ветеринарный врач. 2023. № 2.
3. Маланьев А. В. и др. Токсикологическая оценка кормов из Республики Мордовия на наличие пестицидов и азотсодержащих соединений. Ветеринарный врач. 2019. № 2. С. 43-49.
4. Семенова С. А., Потехина Р. М., Семенов Э. И., Валиев А. Р., Мишина Н. Н., Хусаинов И. Т. Оценка токсичности кормов по регионам Российской Федерации. Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. 2015. № 4.
5. Сагдеева З. Х., Мишина Н. Н., Никитин А. И. Оценка общей токсичности кормов, поступивших из районов Республики Татарстан. Актуальные проблемы ветеринарной медицины: материалы международной научно-практической конференции. Казань, 2018. С. 176-180.
6. Трemasов М. Я., Иванов А. В., Тарасова Е. Ю. Микотоксины - реальная угроза продовольственной безопасности. Вестник ветеринарии. 2013. № 2 (65). С. 78-80.
7. Leal J. F., Bombo G., Pereira H., Vicente B., Amorim A., Cristiano M. L. S. Toxin Profile of Two *Gymnodinium catenatum* Strains from Iberian Coastal Waters. *Toxins*. 2022. No 14. P. 762.
8. Siroka Z. Toxicity of House Plants to Pet Animals. *Toxins*. 2023. No 15 (5). P. 346.
9. Xu X., Murphy L. A. Simultaneous Determination of Pyrethrins, Pyrethroids, and Piperonyl Butoxide in Animal Feeds by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Toxins*. 2023. No 15. P. 401.
10. Zhang L., Yang X., Huang R., Nie C., Niu J., Chen C., Zhang W. Biodegradation of Free Gossypol by *Helicoverpa armigera* Carboxylesterase Expressed in *Pichia pastoris*. *Toxins*. 2022. No 14. P. 816.

References

1. Galyautdinova G. G., Valiev A. R., Sagdeeva Z. Kh., O Shlyamina. V. On the research of feed for general toxicity at the testing center of the Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2022. No. 3.
2. Galyautdinova G. G., Sagdeeva Z. Kh., Shlyamina O. V. Assessment of the general toxicity of feed by biotesting on protozoa and laboratory animals. *Veterinarian*. 2023. No 2.
3. Malanyev A. V. et al. Toxicological assessment of feed from the Republic of Mordovia for the presence of pesticides and nitrogen-containing compounds. *Veterinarian*. 2019. No 2. Pp. 43-49.
4. Semenova S. A., Potekhina R. M., Semenov E. I., Valiev A. R., Mishina N. N., Khusainov I. T. Assessment of feed toxicity by regions of the Russian Federation. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2015. No 4.
5. Sagdeeva Z. Kh., Mishina N. N., Nikitin A. I. Assessment of the general toxicity of feed received from the regions of the Republic of Tatarstan. Actual problems of veterinary medicine: materials of the international scientific and practical conference. Kazan, 2018. Pp. 176-180.
6. Tremasov M. Ya., Ivanov A. V., Tarasova E. Y. Mycotoxins as a real threat to food security. *Veterinary Bulletin*. 2013. № 2 (65). Pp. 78-80.
7. Leal J. F., Bombo G., Pereira H., Vicente B., Amorim A., Cristiano M. L. S. Toxin Profile of Two *Gymnodinium catenatum* Strains from Iberian Coastal Waters. *Toxins*. 2022. No 14. P. 762.
8. Siroka Z. Toxicity of House Plants to Pet Animals. *Toxins*. 2023. No 15 (5). P. 346.
9. Xu X., Murphy L. A. Simultaneous Determination of Pyrethrins, Pyrethroids, and Piperonyl Butoxide in Animal Feeds by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Toxins*. 2023. No 15. P. 401.
10. Zhang L., Yang X., Huang R., Nie C., Niu J., Chen C., Zhang W. Biodegradation of Free Gossypol by *Helicoverpa armigera* Carboxylesterase Expressed in *Pichia pastoris*. *Toxins*. 2022. No 14. P. 816.

Информация об авторах

Ушаков Максим Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: volgau-ushakov@yandex.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Соничев Борис Евгеньевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26).

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский просп., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Шкаленко Вера Владимировна, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Authors' Information

Ushakov Maksim Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: volgau-ushakov@yandex.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Sonichev Boris Evgenievich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26).

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Shkalenko Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Chekhhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-41

THE ADJUSTABLE HEATING OF THE FERTILE PART OF THE BEE NEST DURING EARLY SPRING DEVELOPMENT¹Chuchunov V. A., ²Radzievsky E. B., ¹Varakin A. T., ¹Petrukhin V. A.¹Volgograd State Agrarian University²Russian Agricultural Center in the Volgograd region
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: chuchunov.78@mail.ru

Received 09.12.2024

Submitted 08.04.2025

Summary

Annotation. Increasing the productivity of apiaries by optimizing technological processes is aimed at the effective use of bees. It is known that the faster the bee family gains strength in spring, the more effectively it will use the potential of early nectarines. The beekeeper, providing conditions for early spring development (warming, replenishment of feed stocks), thereby stimulates the uterus to increase egg production. Our work is devoted to the study of the effectiveness of the self-regulating heating system of bees' nests developed by us, which, taking into account the level of family development, helps bees to provide the necessary amount of brood heating by registering the temperature of the nest with a thermal sensor and through a thermal relay with preset optimal parameters (from 34 to 36 °C) to automatically adjust the temperature by turning on/off the heating elements.

Abstract

Introduction. One of the most difficult periods in the existence of the bee family is when, in late winter and early spring, the uterus begins to lay eggs, and overwintered workers ensure the growth and development of the brood, while the consumption of feed stocks increases sharply, the temperature increases to the optimum in the fertile part of the club. At this time, until the bees have made the first cleansing flight, and the death of families occurs, due to the inability to clean the overflowing intestines, nosematosis or lack of feed. At the same time, helping bees to ensure optimal parameters becomes relevant for the beekeeper, often this work is reduced to simple nest insulation, and if someone uses electric heating, it does not take into account the individual characteristics of each family. **The object of the study** is bee colonies with early spring development using different methods of insulation (heating). **Materials and methods.** In the conditions of the apiary of the Volgograd region, in 2024, we conducted research on bees of the Carpathian breed, while some families developed according to generally accepted technology, and self-regulating electric heating systems were installed in 5 experienced families. In the course of our research, we took into account the strength of families, the level of their spring development, the egg production of queen bees, the honey productivity of families. At the end of the research, an assessment of the economic efficiency of using our development was given. **Results and conclusions.** In the course of our research, a high positive dynamic in the development of bee colonies in the early spring period was established when using a self-

regulating electric heating system. The experienced families, compared with the control ones, reached the peak of their development faster and made better use of spring and early summer nectarines. Honey productivity in the aggregate of experienced families was 38 % higher than that of control families, and although the level of profitability due to additional costs was 18.1 % lower, but as a result of higher productivity of bees, the profit received on average per family was 547.8 rubles higher.

Keywords: beekeeping, honey productivity of bees, bee colonies, electric heating of nests.

Citation. Chuchunov V. A., Radzievsky E. B., Varakin A. T., Petrukhin V. A. The adjustable heating of the fertile part of the bee nest during early spring development. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 372-378 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-41.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the final version presented.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 638.124.228

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ОБОГРЕВ РАСПЛОДНОЙ ЧАСТИ ГНЕЗДА ПЧЕЛ ПРИ РАННЕВЕСЕННЕМ РАЗВИТИИ

¹Чучунов В. А., кандидат биологических наук

²Радзиевский Е. Б., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Варакин А. Т., доктор сельскохозяйственных наук

¹Петрухин В. А., кандидат технических наук

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБУ «Россельхозцентр» по Волгоградской области

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Один из самых сложных периодов в существовании пчелиной семьи наступает когда в конце зимы начале весны матка начинает откладывать яйца, а перезимовавшие рабочие особи обеспечивают рост и развитие расплода, при этом резко возрастает потребление запасов корма, увеличивается температура до оптимальной в расплодной части клуба. В это время, пока пчелы не совершили первый очистительный облет, и происходит гибель семей, вследствие невозможности очистки переполненного кишечника, нозематоза или нехватки кормов. При этом актуальной для пчеловода становится помощь пчелам в обеспечении оптимальных параметров, зачастую эта работа сводится к простому утеплению гнезда, а если кто и использует электрообогрев, то не учитывает индивидуальные особенности каждой семьи. **Объект.** Объектом исследования являются пчелиные семьи при ранневесеннем развитии при использовании разных методов утепления (обогрева). **Материалы и методы.** В условиях пасеки Волгоградской области нами в 2024 году были проведены исследования на пчелах карпатской породы, при этом часть семей развивали по общепринятой технологии, а в 5 опытных семьях была смонтирована саморегулируемая система электрообогрева. В ходе исследований нами учитывалась сила семей, уровень их весеннего развития, яйценоскость пчелиных маток, медовая продуктивность семей. По окончании исследований дана оценка экономической эффективности использования нашей разработки. **Результаты и выводы.** В ходе наших исследований установлена высокая положительная динамика в развитии пчелиных семей в ранневесенний период при использовании саморегулируемой системы электрообогрева. Опытные семьи в сравнении с контрольными быстрее достигали пика своего развития и лучше использовали весенние и раннелетние нектароносы. Медовая продуктивность в совокупности у опытных семей была на 38 % больше, чем у контрольных, и хотя уровень рентабельности вследствие дополнительных затрат был ниже на 18,1 %, но в результате более высокой продуктивности пчел прибыль, полученная в среднем на 1 семью, была выше на 547,8 руб.

Ключевые слова: пчеловодство, медовая продуктивность пчел, пчелиные семьи, электрообогрев гнезд.

Цитирование. Чучунов В. А., Радзиевский Е. Б., Варакин А. Т., Петрухин В. А. Регулируемый обогрев расплодной части гнезда пчел при ранневесеннем развитии. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 372-378. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-41.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Один из сложных этапов в жизни пчелиной семьи – когда после зимовки пчелиная матка начинает откладывать яйца. Этот период является самым уязвимым временем в годовом цикле жизни пчел. Пчелы, для того чтобы создать оптимальные условия

развития расплода, увеличивают температуру клуба, при этом потребление меда резко увеличивается, а для синтеза секрета «маточное молочко» пчелы начинают потреблять и белковые корма – «пергу». Поедание большого количества запасов корма способствует накоплению продуктов распада в задней кишке пчел, при этом ректальные железы, выделяющие фермент «каталаза», не всегда справляются с нагрузкой, и если погодные условия не будут благоприятными для очистительного облета, то пчелы опоносятся в гнезде и такие семьи зачастую гибнут. Таким образом, большая часть пчелиных семей, которая погибает зимой – как раз в период от начала откладывания яиц маткой до первого очистительного облета пчел. Да и в последующем, пока семья не наберет достаточную силу, она испытывает трудности, связанные с обеспечением температурно-влажностных параметров микроклимата гнезда. После зимовки многие семьи настолько ослаблены, что без помощи пчеловода не способны быстро развиваться, обеспечив к главному взятку достаточного количества рабочих особей пчел, чтобы успешно использовать нектароносы [1].

На сегодняшний день оптимизация параметров гнезда при весеннем развитии обеспечивается пчеловодами посредством простого утепления гнезда различными средствами (пеноплекс, фольгоизол, подушки и т.д.) [5, 7, 8, 10, 14], а если и применяется электрообогрев, то не производится корректировка уровня обогрева с учётом потребностей расплодной части гнезда. При этом неконтролируемый подогрев гнезда зачастую не может создать оптимальные параметры, необходимые индивидуально для каждой семьи при её развитии. Так как сила семей находится на разных уровнях, то потребность к уровню обогрева, соответственно, различна. Электрообогрев гнезда без учета его уровня может приводить к ненужной нагрузке на семью и, как следствие, замедлению их роста [2, 12, 15].

В исследованиях Касьянова А. И., Лапынина Е. П., Савушкина Л. Н., Пономаря П. И., Тягунова В. Р. установлено, что использование обогрева в безрасплодный период пчел свело к минимуму потери пчелиных семей, а количество подмора уменьшилось в разы, сократилось потребление запасов меда за время зимовки, на крайних рамках отсутствуют следы плесени. Кроме того семьи, где использовали обогрев, более сильные, в них не фиксировались такие заболевания, как нозематоз и аскосфероз, а клеща варроа якокобсоне было минимальное количество [4, 9, 11]. В работе «Осторожно – электрообогрев» Раводина И. В. отмечается негативное влияние обогрева пчел, связанное с тем, что матка стимулируемая теплом, увеличивает яйцекладку, занимает расплодом большое количество сот, при том что уровень обменных процессов в семье протекает более интенсивно, а количество рабочих особей в семье на пределе их потенциала, и при возникновении «возвратных» заморозков весной они не могут обеспечить надлежащие условия расплоду, который застывает и гибнет, а семья тормозится в развитии. Кроме того, отмечается негативное влияние на пчел включение/выключение обогревательных элементов, когда теплые потоки воздуха устремляются вверх, провоцируя пчел на вылет из улья и при неблагоприятных погодных условиях происходит гибель летной пчелы. Отказ системы обогрева в результате поломки или же аварийного отключения электричества в позднелисенний – раннелисенный периоды неминуемо приведет к гибели расплода (закрытый расплод выдерживает снижение оптимальных параметров температуры на 4-6 °С до 12 часов, а открытый расплод гибнет еще быстрее) и ослаблению семьи [3, 6, 13].

Целью наших исследований является оценка эффективности использования обогрева расплодной части пчелиного гнезда во время раннелисенного развития с применением разработанной нами саморегулируемой системы электрообогрева «Весна 1».

В ходе исследований нами решались следующие задачи:

- обеспечение температурных параметров расплодной части гнезда при весеннем развитии с использованием саморегулируемой системы обогрева;
- оценка силы семей при использовании разных методов обогрева (утепления);
- изучение особенностей развития семей;
- дать сравнительный анализ мёдопродуктивности семей;
- рассчитать экономическую целесообразность применения нашей разработки.

Материалы и методы. С целью оценки зависимости развития гнезда пчел от системы саморегулируемого электрообогрева «Весна 1» в период раннелисенного развития мы в 2024 году поставили опыт в условиях пасеки Волгоградской области. Формирование групп осуществлялось по принципу пар-аналогов (пчелы были одной породы, сила подблюдаемых семей была практически на одном уровне). В опытных семьях мы использовали термодатчики, располагаемые в верхней части пчелиного гнезда (где в основном и распо-

ную рамку накладывали рамку с натянутой металлической сеткой, размер ячеек которой 5 см X 5 см (рисунок 2). После чего умножали сумму квадратов, занятых печатным расплодом, в семье на 100 (в каждом квадрате такой рамки 25 см² уместается 100 пчелиных ячеек) и делили на 12 (продолжительность стадии закрытого расплода рабочих пчел).

Медовую продуктивность определялась нами посредством взвешивания медовых рамок на пружинных весах с последующим вычетом массы пустого сота (0,5 кг).

Схема наших исследований представлена на рисунке 3.

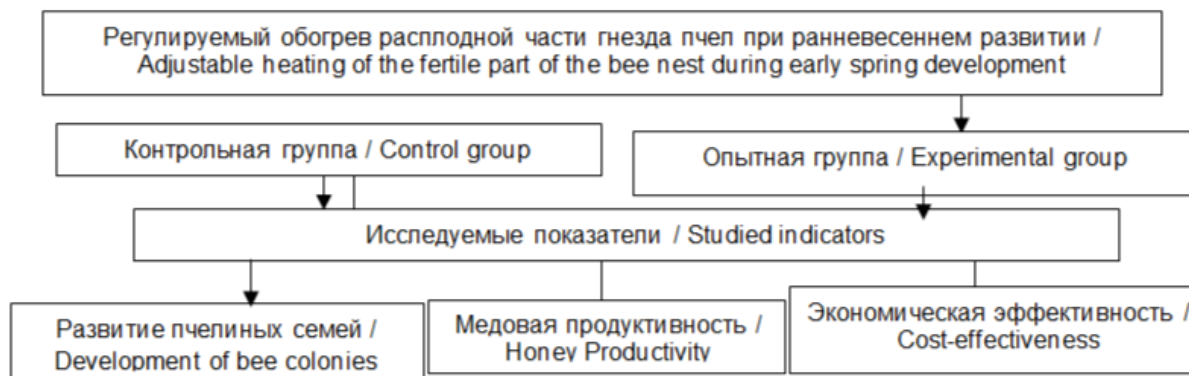


Рисунок 3 – Схема проведения исследований
Figure 3 – Research scheme

Результаты и обсуждение. Результаты наших исследований по развитию пчелиных семей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Развитие пчелиных семей (n=5)
Table 1 – Development of bee colonies (n=5)

Table 1 – Development of bee colonies (n=3)				
Группа / Group	Дата осмотра / Inspection date	Температура на улице, °C / Outdoor temperature, °C	Сила семьи, улочка / The power of the family	Среднесуточная яйценоскость матки, шт. / Average daily egg production of the queen, pcs
Март / March				
Опытная / Experimental	30	+18	6,2±0,28	не учитывали / did not take into account
Контрольная / Control			6,4±0,21	
Апрель / April				
Опытная / Experimental	10	+22	8,2±0,34	1054,4±27,07
Контрольная / Control			6,0±0,3	431,0±21,65
Опытная / Experimental	22	+21	11,6±0,35	1398,4±22,93
Контрольная / Control			6,8±0,32	891,4±28,49
Май / May				
Опытная / Experimental	1	+23	16,0±0,49	1641,8±31,29
Контрольная / Control			9,2±0,38	1186,6±28,54
Опытная / Experimental	7	+25	17,2±0,62	1902,4±43,19
Контрольная / Control			12,6±0,44	1586,6±28,43

Анализируя таблицу 1, мы отмечали, что во время весеннего развития пчелиных семей там, где применялась разработанная нами система саморегулируемого электрообогрева гнезда «Весна 1», развитие семей происходило бурно. В то же время, где утепление гнезда осуществлялось без применения электрообогрева, пчелиные семьи несколько отставали в своём развитии. Так, оценивая развитие силы семьи (улочка) отмечали, что при закладке опыта в марте разница между контрольной и опытными семьями составляла 3 %. В апреле эта разница составляла от 36,6 % в начале месяца до 70,6 % в конце месяца, а в мае расхождения между группами составляла от 73,9 до 36,5 % соответственно. Яйценоскость маток также развивалась лучше в опытных семьях, разница с контролем составляла в апреле от 144,6 до 56,9 %, а в Мае от 38,4 до 19,9 %. Таким образом, матки опытных групп раньше маток контрольных групп достигали пика своей яйценоскости и это способ-

ствовало быстрому наращиванию силы семей и, как следствие, лучшему использованию раннего взятка (в наших условиях это акация, цветение которой в этом году наступило раньше, более чем на месяц).

Оценивая медовую продуктивность пчелиных семей (таблица 2), отмечали, что в опытных группах, где применялась наша разработка, на откачку меда было отобрано 11,8 полно-мёдных рамок, в то же время как в контрольных семьях только 6,8 рамок. Пчелы опытной группы лучше использовали нектароносы, собрав товарного меда на 38 % больше в сравнении, где предлагаемая нами технология не использовалась. По качественным показателям меда видимых отличий между группами выявлено не было.

Таблица 2 – Медовая продуктивность пчелиных семей (n=5)

Table 2 – Honey productivity of bee colonies (n=5)

Группа / Group	Количество стандартных соторамок с медом, шт. / Number of standard honey frames, pcs.	Получено товарного меда, кг / Marketable honey obtained, kg
Опытная / Experimental	11,8±0,74	42,6±3,22
Контрольная / Control	6,8±0,62	26,2±3,16

Экономическая эффективность производства мёда с использованием саморегулируемого электрообогрева семей пчел, и без электрообогрева представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Экономическая эффективность производства меда

Table 3 – The economic efficiency of honey production

Показатели / Indicators	Опытная / Experimental	Контрольная / Control
Цена реализации за кг, руб. / Selling price per kg, RUB	370	370
Полные издержки, руб. / Total costs, RUB	281	247
Прибыль на 1кг, руб. / Profit per 1 kg, rubles	89	123
Получено товарного мёда с 1 семьи, кг / Marketable honey received from 1 family, kg	42,6	26,2
Прибыль в расчете на 1 семью, руб. / Profit per 1 family, rubles	3791,4	3243,6
Уровень рентабельности, % / Уровень рентабельности, %	31,7	49,8

Экономическая эффективность применения саморегулируемого электрообогрева пчелиных семей «Весна 1» убедительно доказывает эффективность нашей разработки. При цене реализации меда в 370 рублей за кг полные издержки были несколько выше (на 34 руб.) в опытных семьях, что связано с затратами на покупку комплектующих, монтаж и использование нашей разработки. И хотя уровень рентабельности в опытных группах был ниже на 18,1 %, но вследствие более высокой продуктивности семей прибыль, полученная в среднем на 1 семью, оказалась выше на 547,8 руб.

Заключение. Проведя исследования по использованию автоматически регулируемого обогрева пчелиных семей «Весна 1» во время ранневесеннего развития, рекомендуем использовать саморегулируемую систему подогрева гнезда пчел, так как она, учитывая биологические потребности гнезда в обогреве расплодной части, обеспечивая оптимальное развитие пчелиных семей, способствует бурному росту и в максимально короткие сроки достижению пика развития семьи. Это в свою очередь увеличивает продуктивность пасеки на 38 % и позволяет получить дополнительный доход на семью в размере 547,8 руб.

Conclusions. Having conducted research on the use of automatically regulated heating of bee colonies during early spring development, we recommend using a self-regulating heating system for bees' nests. Since it, taking into account the biological needs of the nest in heating the fertile part, ensuring the optimal development of bee colonies, contributes to rapid growth and in the shortest possible time to achieve the peak of family development. This, in turn, increases the productivity of the apiary by 38 % and allows you to get additional income per family in the amount of 547.8 rubles.

Библиографический список

1. Астафьев Н. П. И. Прокопович о способах содержания пчел. Пчеловодство. 2021. № 1. С. 60-61.
2. Гусев М. Ф. Весенний облёт. Пчеловодство. 2022. № 5. С. 32-34.
3. Еськов Е. К. Цикличность терморегуляторной активности пчел. Пчеловодство. 2022. № 4. С. 16-18.
4. Касьянов А. И., Лапынина Е. П., Савушкина Л. Н. Термогенез и температурный режим нуклеуса среднерусских пчел. Пчеловодство. 2023. № 2. С. 18-20.
5. Крутоголов В. Д. Технология содержания пчел. Пчеловодство. 2014. № 3. С. 30-32.
6. Мамонтов Д. В. Весенние работы на пасеке. Пчеловодство. 2023. № 4. С. 30-32.
7. Налецкий М. М. Содержание пчел в многокорпусных ульях. Пчеловодство. 2014. № 8. С. 37-40.

8. Панков Д. М. Комплексный подход к содержанию пчел. Пчеловодство. 2013. № 6. С. 12-13.
9. Пономар П. И. Уход за пчелами в начале сезона. Пчеловодство. 2023. № 8. С. 22-24.
10. Селицкий А. В. Содержание пчел в двухкорпусном. Пчеловодство. 2014. № 5. С. 45-47.
11. Тягунов В. Р. Зимовка с солнечным обогревом. Пчеловодство. 2024. № 3. С. 28-30.
12. Филиппов В. С. Содержание пчел в теплых ульях. Пчеловодство. 2020. № 4. С. 36-39.
13. Чирок С. В. Весенняя ревизия пчелиных семей. Пчеловодство. 2024. № 4. С. 34-36.
14. Чукунов В. А. и др. Сравнительный анализ использования ульев из пенополистирола и дерева. Пчеловодство. 2022. № 7. С. 22-24.
15. Ярошевич Г. С., Мазина Г. С., Владимирова С. В. Приемы и способы содержания пчел в условиях Псковской области. Инновационные технологии для АПК юга России: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Майкоп, 2016. С. 293-297.

References

1. Astafyev N. P. I. Prokopovich on the methods of keeping bees. Apiculture. 2021. № 1. Pp. 60-61.
2. Gusev M. F. Spring flight. Apiculture. 2022. № 5. Pp. 32-34.
3. Eskov E. K. Cyclicity of Thermoregulatory Activity of Bees. Apiculture. 2022. № 4. Pp. 16-18.
4. Kasyanov A. I., Lapygina E. P., Savushkina L. N. Thermogenesis and Temperature Regime of the Nucleus of Central Russian Bees. Apiculture. 2023. № 2. Pp. 18-20.
5. Krutogolov V. D. Technology of keeping bees. Apiculture. 2014. № 3. Pp. 30-32.
6. Mamontov D. V. Spring work in the apiary. Apiculture. 2023. № 4. Pp. 30-32.
7. Naletsky M. M. Keeping bees in multi-body hives. Apiculture. 2014. № 8. Pp. 37-40.
8. Pankov D. S. Integrated approach to the maintenance of bees. Apiculture. 2013. № 6. Pp. 12-13.
9. Ponomar P. I. Care for bees at the beginning of the season. Apiculture. 2023. № 8. Pp. 22-24.
10. Selitsky A. V. Keeping bees in a two-body building. Apiculture. 2014. № 5. Pp. 45-47.
11. Tyagunov V. R. Wintering with solar heating. Apiculture. 2024. № 3. Pp. 28-30.
12. Filippov V. S. Keeping bees in warm hives. Apiculture. 2020. № 4. Pp. 36-39.
13. Chirok S. V. Spring revision of bee families. Apiculture. 2024. № 4. Pp. 34-36.
14. Chuchunov V. A. et al. Comparative Analysis of the Use of Hives Made of Expanded Polystyrene and Wood. Apiculture. 2022. № 7. Pp. 22-24.
15. Yaroshevich G. S., Mazina G. S., Vladimirova S. V. Methods and methods of keeping bees in the conditions of the Pskov region. Innovative technologies for the agro-industrial complex of the south of Russia: materials of the All-Russian scientific and practical conference. Maykop, 2016. Pp. 293-297.

Информация об авторах

Чукунов Василий Александрович, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: chuchunov.78@mail.ru

Радзиевский Евгений Борисович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, ФГБУ «Россельхозцентр» по Волгоградской области (Российская Федерация, 403003, г. Волгоград, пр. Маршала Жукова, 27), e-mail: yenia79@mail.ru

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: varakinat58@mail.ru

Петрухин Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: v.petrukhin@volgau.com

Authors' Information

Chuchunov Vasily Aleksandrovich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: chuchunov.78@mail.ru

Radzievsky Evgeny Borisovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Specialist, Russian Agricultural Center in the Volgograd region (Russian Federation, 403003, Volgograd, Marshala Zhukova Ave., 27), e-mail: yenia79@mail.ru

Varakin Aleksander Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: varakinat58@mail.ru

Petrukhin Vladimir Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: v.petrukhin@volgau.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-42

THE USE OF ORGANIC ACIDS IN THE BROILER CHICKENS FEEDING

**Kuzmina E. A., Nikolaev S. I., Danilenko I. Y., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S.,
Karapetyan A. K., Shkalenko V. V.**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author: taranova_15@mail.ru

Received 20.03.2025

Submitted 22.05.2025

The study was conducted within the framework of the research contract No. 8 dated 04/14/2023 on the topic "The effect of biologically active feed additives on intestinal microflora, metabolic processes and productivity of broiler chickens".

Abstract

Introduction. Modern industrial poultry farming is one of the most dynamic and developing agro-industrial sectors, providing the population with affordable food products, which has taken a leading role among agricultural sectors in many parts of the world. Because it not only supplies a cheap source of protein, but also

provides jobs for millions of people. In modern poultry farming, striving to optimize production processes and increase profitability, more and more attention is paid to the search and implementation of effective and safe feed additives. Among them, a special place is occupied by organic acids, which have proven themselves as a promising tool for improving poultry health, increasing productivity and reducing the use of antibiotics. The relevance of the use of organic acids is due to a number of factors. Firstly, they have pronounced antimicrobial properties, suppressing the growth of pathogenic bacteria in the intestines of birds, such as Salmonella, E. coli and Clostridium. This helps improve intestinal microflora, increase the digestibility of nutrients and reduce the risk of gastrointestinal diseases. Secondly, organic acids help reduce intestinal pH, which creates a favorable environment for the activity of digestive enzymes and improves feed digestibility. In addition, acidification of feed and water prevents the development of mold and other undesirable microorganisms. Thirdly, organic acids have an immunomodulatory effect, stimulating the immune system of birds and increasing their resistance to infections. This is especially important in conditions of intensive poultry farming, where birds are exposed to stress and weakened immunity. Thus, the use of organic acids in poultry farming is a relevant and promising area that allows increasing production efficiency, improving poultry health and reducing dependence on antibiotics. The choice of a specific organic acid and dosage should be made taking into account the age of the bird, housing conditions and feed ration.

The object of the study. The object of our research was the agricultural poultry of the highly productive meat cross Ross 308 and the feeding technology using organic acids. **Materials and methods.** To conduct scientific and economic research, production groups of broiler chickens were formed in the conditions of the Center for nutrigenomics of farm animals and poultry of the Volgograd State Agrarian University. The birds were planted at the age of one day in groups (control, experimental). The maintenance parameters, feeding standards and technological modes in the groups were identical, based on the recommendations of All-Russian Scientific Research and Technological Institute of Poultry Farming and the requirements for the maintenance of the ROSS 308 cross. Feeding programs (start, growth, finish) in the groups were the same. The only difference was that the poultry of the experimental group additionally received a complex of organic acids. Studies to determine the influence of organic acids on the production indicators of broiler chickens were conducted using generally accepted zootechnical methods with final statistical processing.

Results and conclusions. As a result of the conducted tests of the use of organic acids in the diet of broiler chickens, the following positive results were obtained: the survivability of the bird increases by 1,67 %, the increase in live weight by 4,37 %, the production efficiency index by 10,63 %.

Keywords: poultry farming, broiler chicken feeding, feed solutions, broiler chicken feeding technologies, organic acids.

Citation. Kuzmina E. A., Nikolaev S. I., Danilenko I. Y., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S., Karapetyan A. K., Shkalenko V. V. The use of organic acids in the broiler chickens feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 378-384 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-42.

Author's contribution. All authors of the present study were involved in the planning, execution and analysis of the study results. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors have declared no conflicts of interest.

УДК 636.52/58.087.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Кузьмина Е. А., аспирант

Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Даниленко И. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук

Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук

Воронцова Е. С., кандидат биологических наук

Карапетыан А. К., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Шкаленко В. В., доктор биологических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора на выполнение научно-исследовательских работ № 8 от 14.04.2023 г. по теме «Влияние биологически активных кормовых добавок на кишечную микрофлору, обменные процессы и продуктивность цыплят-бройлеров».

Актуальность. Современное промышленное птицеводство – одно из наиболее динамичных и развивающихся агропромышленных направлений, обеспечивающих население доступной пищевой продукцией. Оно заняло ведущую роль среди сельскохозяйственных отраслей во многих частях мира, поскольку не только является доступным источником белка, но и обеспечивает работой миллионы людей. В современном птицеводстве, стремящемся к оптимизации производственных процессов и повышению рентабельности, все большее внимание уделяется поиску и внедрению эффективных и безопасных кормовых добавок. Среди них особое место занимают органические кислоты, зареко-

мендовавшие себя как перспективный инструмент улучшения здоровья птицы, повышения продуктивности и снижения использования антибиотиков. Актуальность применения органических кислот обусловлена рядом факторов. Во-первых, они обладают выраженными антимикробными свойствами, подавляя рост патогенных бактерий в кишечнике птицы, таких как *Salmonella*, *E. coli* и *Clostridium*. Это способствует улучшению микрофлоры кишечника, повышению усвояемости питательных веществ и снижению риска развития желудочно-кишечных заболеваний. Во-вторых, органические кислоты способствуют снижению pH в кишечнике, что создает благоприятную среду для активности пищеварительных ферментов и улучшает переваримость корма. Кроме того, подкисление корма и воды препятствует развитию плесени и других нежелательных микроорганизмов. В-третьих, органические кислоты обладают иммуномодулирующим действием, стимулируя иммунную систему птицы и повышая ее устойчивость к инфекциям. Это особенно важно в условиях интенсивного птицеводства, при котором птица подвержена стрессу и ослаблению иммунитета. Таким образом, применение органических кислот в птицеводстве является актуальным и перспективным направлением, позволяющим повысить эффективность производства, улучшить здоровье птицы и снизить зависимость от антибиотиков. **Объект исследования.** Объектом проведенных нами исследований явилась сельскохозяйственная птица мясного высокопродуктивного кросса Росс 308 и технология кормления с использованием органических кислот. **Материалы и методы.** Для проведения научно-хозяйственного исследования были сформированы производственные группы цыплят-бройлеров в условиях центра нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. Посадку птицы осуществляли в суточном возрасте по группам (контрольная, опытная). Параметры содержания, нормы кормления и технологические режимы в группах были идентичными, опирались на рекомендации ВНИТИП и требования к содержанию кросса РОСС 308. Программы кормления (старт, рост, финиш) в группах были одинаковыми. Отличие составляло лишь то, что птица опытной группы дополнительно получала комплекс органических кислот. Исследования по определению влияния органических кислот на производственные показатели цыплят-бройлеров проводились с использованием общепринятых зоотехнических методик с итоговой статистической обработкой. **Результаты и выводы.** В результате проведенных испытаний применения органических кислот в рационе цыплят-бройлеров были получены следующие положительные результаты: сохранность птицы повышается на 1,67 %, прирост живой массы – на 4,37 %, индекс эффективности производства – на 10,63 %.

Ключевые слова: птицеводство, кормление цыплят-бройлеров, кормовые решения, технологии кормления цыплят-бройлеров, органические кислоты.

Цитирование. Кузьмина Е. А., Николаев С. И., Даниленко И. Ю., Чехранова С. В., Воронцова Е. С., Карапетян А. К., Шкаленко В. В. Использование органических кислот в кормлении цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 378-384. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-42.

Авторский вклад. В данном эксперименте все авторы принимали участие в планировании, выполнении, а также анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен всеми авторами.

Конфликт интересов. О конфликте интересов авторы не заявляли.

Введение. Птицеводство растет более интенсивно, чем любой другой сельскохозяйственный подсектор, и прогнозируется, что к 2030 году на долю этой отрасли будет приходиться более половины общего мирового сельскохозяйственного производства в финансовом выражении. Данный процесс считается «революцией в животноводстве». Эта революция привела к индустриализации производства продукции птицеводства, которое теперь превратилось из традиционной местной многоцелевой деятельности во все более ориентированный на рынок и вертикально интегрированный бизнес [2, 6, 13].

В современном птицеводстве, стремящемся к повышению продуктивности и снижению затрат, особое внимание уделяется оптимизации кормления и поддержанию здоровья птицы [1, 3, 5]. В этом контексте органические кислоты становятся все более востребованным инструментом, демонстрируя широкий спектр положительных эффектов.

Органические кислоты, попадая в желудочно-кишечный тракт птицы, способствуют снижению pH, создавая благоприятную среду для работы пищеварительных ферментов. Это, в свою очередь, приводит к более эффективному расщеплению и усвоению корма, повышая конверсию и снижая потери питательных веществ. Кроме того, они имеют антимикробное воздействие, способствуя подавлению патогенных бактерий (*Salmonella*, *E. coli* и *Clostridium perfringens*), сокращая риск распространения инфекционных заболеваний [8].

В условиях растущей обеспокоенности по поводу устойчивости к антибиотикам, органические кислоты рассматриваются как перспективная альтернатива или дополнение к традиционным антибиотикам [10]. Их использование позволяет снизить зависимость от антибиотиков, минимизируя риск развития резистентных штаммов бактерий и обеспечивая производство безопасной продукции.

Благодаря улучшению пищеварения, подавлению патогенной микрофлоры и повышению сохранности поголовья, применение органических кислот в птицеводстве приводит к увеличению привесов, повышению яйценоскости и улучшению качества продукции [9, 11, 12]. Это, в свою очередь, повышает рентабельность производства и конкурентоспособность предприятия.

В связи с вышесказанным, **целью** настоящего исследования была оценка производственной эффективности использования комплекса органических кислот в технологии выращивания цыплят-бройлеров.

Материалы и методы.

Для проведения научно-хозяйственного исследования нами были сформированы производственные группы цыплят-бройлеров в условиях центра нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ [7].

Посадку птицы осуществляли в суточном возрасте по группам (контрольная, опытная). Параметры содержания, нормы кормления и технологические режимы в группах были идентичными, опирались на рекомендации ВНИТИП и требования к содержанию кросса РОСС 308.

Программы кормления (старт, рост, финиш) в группах были одинаковыми. Отличие составляло лишь то, что птица опытной группы дополнительно получала комплекс органических кислот.

Исследования по определению влияния органических кислот на производственные показатели цыплят-бройлеров проводились с использованием общепринятых зоотехнических методик, результаты прошли статистическую обработку.

Результаты и обсуждение.

В задачу проведенных исследований входило изучение показателей набора массы птицей контрольной и опытной группы. В связи с этим, согласно утвержденной методике проведения исследований, проводили еженедельное взвешивание всего поголовья подопытной птицы (взвешивание проводилось индивидуально для каждой головы), рассчитывали средние значения и сравнивали с рекомендациями к кроссу Росс 308 (таблица 1).

Таблица 1 – Еженедельные показатели массы тела цыплят-бройлеров, г (n=120)

Table 1 – Weekly body weight indicators of broiler chickens, g (n=120)

Показатель / Index	Сутки выращивания птицы / Day of poultry rearing					
	В день посадки птицы на опыт / On the day of planting the bird for the experiment (1)	7	14	21	28	35
Группа / Group						
номер взвешивания / weighing number	1	2	3	4	5	6
контрольная / Control	62,12±0,14	210,50±3,02	531,0±9,34	1014,18±10,12	1627,50±15,76	2305,00±19,89
опытная / Experimental	61,56±0,12	213,90±3,16	550,5±10,14	1046,13±11,09*	1685,11±15,31**	2399,74±19,17***
Рекомендации к кроссу (Aviagen 2022 г) / Recommendations for the cross (Aviagen 2022 г)	62	213	533	1012	1616	2296

*P>0,95; **P>0,99; ***P>0,999

При формировании опытных групп птицы (первое взвешивание) выравнивали стадо не только по полу (курочки и петушки в равном соотношении), но и по живой массе, которая была практически одинаковой в контрольной и опытной группах – 61,56-62,12 г.

Взвешивание особей в возрасте 7-ми суток не показало видимых различий в группах. Средний вес птицы в контрольной группе составил 210,50 г, в опытной 213,90 г, что соответствовало рекомендациям к кроссу.

Высокий «разрыв» значений результатов взвешивания птицы наблюдался со второй недели проведения исследований. Живой вес цыплят-бройлеров на 14-е сутки опыта в контрольной группе составил 531,0 г, в опытной – 550,5 г (разница с контрольной группой +3,67 %).

Данная тенденция прослеживается и в последующих взвешиваниях. Так, по результатам четвертого взвешивания (на 21-е сутки опыта), использование органических кислот позволило получить дополнительный прирост 3,15 % живой массы относительно контроля (1046,13 г в опытной группе, против 1014,18 г в контрольной группе). Пятое взвешивание птицы (28-е сутки опыта) показало, что живая масса птицы из опытной группы превосходила контрольную на 3,54 %, составив 1685,11 г (в контрольной группе – 1627,50 г). Шестое взвешивание (35-е сутки опыта) показало самую высокую разницу привесов в контрольной и опытной группе – 4,11 % (2305,00 г в опытной группе против 2399,74 г в контрольной группе), что, по нашему мнению, можно объяснить накопительным эффектом действия органических кислот на организм птицы.

Согласно производственным показателям, полученным при выращивании птицы, живая масса особей контрольной и опытной групп соответствовала рекомендациям, кроме того, отмечалось, что во второй половине проведения научно-хозяйственного опыта, цыплята-бройлеры имели более высокие показатели массы, чем указано в рекомендациях, что можно объяснить относительно небольшим поголовьем птицы и благоприятными условиями содержания.

В первую неделю проведения исследований был отмечен падеж двух голов птицы в контрольной группе и одной головы в опытной группе; на второй неделе опыта в контрольной группе был падеж одной головы, однако это не связано с кормлением, а было вызвано технологическими факторами, далее падежа птицы не было выявлено.

Для более полной оценки влияния органических кислот на рентабельность мясного птицеводства произведен расчет некоторых основных производственных показателей (таблица 2).

Таблица 2 – Производственные показатели при выращивании цыплят-бройлеров без использования органических кислот и с их применением

Table 2 – Production indicators for growing broiler chickens without the use of organic acids and with their use

Группа / Group	Производственный показатель / Production indicator				
	Сохранность поголовья, % / Livestock safety, %	Живая масса в возрасте 37 суток, г / Live weight at the age of 37 days, g	Расход комбикорма в расчете на 1 голову, кг / Feed consumption per 1 head, kg	Конверсия комбикорма / Compound feed conversion	Индекс эффективности производства (PEF) / Production Efficiency Index (PEF)
Контрольная / Control	97,50	2412,00±22,98	3,584	1,43	462,90
Опытная / Experimental	99,17	2517,50±23,18**	3,584	1,37	512,09
% к контролю / % Control	+1,67	+4,37	0	-0,96	+10,63

*P>0,95; **P>0,99; ***P>0,999.

Чем больше индекс эффективности производства, тем выше результаты работы предприятия [4]. Согласно нашим расчетам, PEF в опытной группе, где использовали в технологии кормления органические кислоты, был выше на 10,63 %, что объясняется более высокой сохранностью поголовья (выше на 1,67 % относительно контрольной группы); увеличением живой массы (+4,37 % к показателю контрольной группы) и снижением конверсии комбикорма (разница с контролем в пользу опытной – 0,96 %).

Выводы. Применение органических кислот в технологии кормления птицы мясного направления продуктивности (кросс Росс 308) оказывает благоприятное влияние на интенсивность роста, сохранность поголовья, конверсию корма и эффективность производства. Внедрение разработанных нами программ кормления цыплят-бройлеров с использованием органических кислот позволило снизить падеж птицы на 1,67 %, увеличить живую массу птицы на 4,37 %, снизить конверсию корма на 0,96 %, что способствовало увеличению индекса эффективности производства на 10,63 %.

Conclusions. The use of organic acids in the technology of feeding poultry of meat productivity (cross Ross 308) has a positive effect on the growth rate, survival rate of livestock, feed conversion and production efficiency. The implementation of our programs for feeding broiler chickens using organic acids allowed us to reduce bird mortality by 1,67 %, increase the live weight of poultry by 4,20 %, reduce feed conversion by 0,96 %, which contributed to increasing the production efficiency index by 10,63 %.

Библиографический список

1. Коршева И. А. Эффективность применения адсорбента микотоксинов при выращивании цыплят бройлеров. Известия Горского государственного аграрного университета. 2022. Т. 59-1. С. 60-65.
2. Кухлевская Ю. Формула эффективного подкислителя. Эффективное животноводство. 2023. № 8 (190). С. 46-51.
3. Околелова Т. М., Енгашев С. В. Что полезно знать о применении органических кислот в кормах и воде для птицы. Международный вестник ветеринарии. 2022. № 1. С. 92-99.
4. Нуржанов Б. С. и др. Оценка мясной продуктивности птицы по конверсии корма. Аграрный научный журнал. 2024. № 2. С. 74-78.
5. Бармина Т. Н. и др. Разработка и внедрение инновационных технологий в птицеводстве, обеспечивающих производство высококачественной продукции. Аграрно-пищевые инновации. 2022. № 4 (20). С. 42-50.
6. Татьяничева О. Е., Добудько А. Н., Сыровицкий В. А. Применение солей аскорбиновой кислоты в животноводстве и птицеводстве. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2023. № 4 (30). С. 84-88.
7. Николаев С. И. и др. Технологический суверенитет в автоматизации центра нутригеномики сельскохозяйственных животных. Зоотехния. 2025. № 2. С. 21-25.
8. Королев А. В. и др. Эффективная кормовая добавка в рационах цыплят-бройлеров. Зоотехния. 2024. № 5. С. 14-16.
9. Лавриненко К. В. и др. Эффективность использования органических кислот и их солей в кормлении цыплят-бройлеров. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2022. № 4 (26).
10. Правдин И. В. и др. Эффективность комбинирования пробиотиков с фитобиотиками в рационе птицы: анализ литературных данных. Птицеводство. 2023. № 1. С. 22-27.
11. Bist R. B., et al. Sustainable poultry farming practices: A critical review of current strategies and future prospects. Poultry Science. 2024. 104295.
12. Dong S., et al. Improving quality of poultry and its meat products with probiotics, prebiotics, and phytoextracts. Poultry science. 2024. V. 103. № 2. 103287.
13. Nechitailo K. S., et al. Causes, mechanisms of development and manifestations of antibiotic resistance in poultry farming, consequences and methods of overcoming. World's Poultry Science Journal. 2024. V. 80. № 2. Pp. 453-479.
14. Ray A., Pradhan R. K. Poultry farming-an overview. Research Journal of Science and Technology. 2011. V. 3. № 3. Pp. 129-136.

References

1. Korsheva I. A. Effectiveness of mycotoxin adsorbent in broiler chicken breeding. Proceedings of the Gorsky State Agrarian University. 2022. V. 59-1. Pp. 60-65.
2. Kuhlenskaya Y. Formula of effective acidifier. Efficient animal husbandry. 2023. № 8 (190). Pp. 46-51.
3. Okolelova T. M., Engashev S. V. What is useful to know about the use of organic acids in feed and water for birds. International Veterinary Bulletin. 2022. № 1. Pp. 92-99.
4. Nurzhanov B. S., et al. Estimation of Poultry Meat Productivity by Feed Conversion. Agrarian Scientific Journal. 2024. № 2. Pp. 74-78.
5. Barmina T. N., et al. Development and implementation of innovative technologies in poultry farming, ensuring the production of high-quality products. Agrarian and food innovations. 2022. № 4 (20). Pp. 42-50.
6. Tatyanchicheva O. E., Dobudko A. N., Syrovitsky V. A. Application of Ascorbic Acid Salts in Animal Husbandry and Poultry Farming. Actual issues of agricultural biology. 2023. № 4 (30). Pp. 84-88.
7. Nikolaev S. I., et al. Technological Sovereignty in the Automation of the Center for Nutrigenomics of Farm Animals. Animal Science. 2025. № 2. Pp. 21-25.
8. Korolev A. V., et al. Effective feed additive in the diets of broiler chickens. Animal Science. 2024. № 5. Pp. 14-16.
9. Lavrinenko K. V., et al. Efficiency of Using Organic Acids and Their Salts in Feeding Broiler Chickens. Actual issues of agricultural biology. 2022. № 4 (26).
10. Pravdin I. V., et al. Efficacy of combining probiotics with phytobiotics in poultry diet: analysis of literature data. Poultry. 2023. № 1. Pp. 22-27.
11. Bist R. B., et al. Sustainable poultry farming practices: A critical review of current strategies and future prospects. Poultry Science. 2024. 104295.
12. Dong S., et al. Improving quality of poultry and its meat products with probiotics, prebiotics, and phytoextracts. Poultry science. 2024. V. 103. № 2. 103287.
13. Nechitailo K. S., et al. Causes, mechanisms of development and manifestations of antibiotic resistance in poultry farming, consequences and methods of overcoming. World's Poultry Science Journal. 2024. V. 80. № 2. Pp. 453-479.
14. Ray A., Pradhan R. K. Poultry farming-an overview. Research Journal of Science and Technology. 2011. V. 3. № 3. Pp. 129-136.

Информация об авторах

Кузьмина Елена Анатольевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: kafedra-kormlenie@mail.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Даниленко Ирина Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: taranova_15@mail.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: schekhranova@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Карапетын Анжела Кероповна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Шкаленко Вера Владимировна, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Authors' Information

Kuzmina Elena Anatolyevna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kafedra-komlenie@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Danilenko Irina Yuryevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: taranova_15@mail.ru

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Karapetyan Anzhela Keropovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Shkalenko Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-43

THE ELEMENTAL PROFILE OF CARP WHEN USING COMPLEX FEED ADDITIVES IN THE DIET

Mingazova M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Yu. V.

Orenburg State University
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ms.mingazova@gmail.com

Received 25.02.2025

Submitted 12.05.2025

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2024-550).

Abstract

Introduction. Fish is an important food product for the population, containing a huge amount of useful vitamins and minerals. In recent years, the role of fishing has decreased, while aquaculture is actively developing. Feeding is an urgent issue in fish farming. It is possible to improve the quality of the diet by adding additional feed additives to it. For example, probiotics, which have been used in agriculture for several decades, are widely used drugs. Their action is aimed at increasing the immunity and productivity of cultivated aquatic organisms. At the same time, new potential components for their use in animal husbandry are emerging. For example, anti-quorum substances and ultrafine particles. These supplements have shown good results in animal feeding, as in addition to increasing growth and productivity, there is also an improvement in metabolic processes with increased immunity. In addition, the combined effect of feed additives can improve the quality of the diet due to a synergistic effect. The aim of the study was to study the elemental profile of carp when complex feed additives are included in the diet. **Object.** *Cyprinus carpio* (96±1 g). **Materials and methods.** The experiment was performed on the basis of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture of the Orenburg State University. The reference period lasted 42 days, during which complex feed preparations were administered to the fish of the experimental groups. The control received the basic ration (BR) throughout the study. Group I – BR + vanillin (25 mg/kg of feed) + probiotic (1 g/kg of feed) + Zn (20 mg/kg of feed) + I (0.6 mg/kg of feed) + Cr (2 mg/kg of feed) + Co (2 mg/kg of feed); II group – BR + vanillin (25 mg/kg of feed) + probiotic (1 g/kg of feed) + Zn (20 mg/kg of feed) + I (0.6 mg/kg of feed) + Cr (2 mg/kg of feed) + Co (2 mg/kg of feed) + ultrafine particles SiO₂ (200 mg/kg of feed). The elemental profile of carp muscle tissue was studied at the laboratory of the ANO "Center for Biotic Medicine", Moscow (license MDKZ 18097/9556). **Results and conclusions.** The inclusion of complex feed preparations in the diet of carp led to selective changes in the concentration of macro- and microelements, contributing to an increase in the levels of calcium, sodium, and iron. The additional use of ultrafine particles SiO₂ had the best effect on the elemental status. The general element profile (EP) in the experimental groups was as follows: $EP(I) = \frac{1Na,Fe}{1B,Se,Mo,Sn,Pt}$; $EP(II) = \frac{1Ca,Na,Cr,Mn,Fe,Mo,Sr}{1B,Se,Sn,Hg}$.

Keywords: fish breeding, carp breeding, carp feeding, complex feed additives, feed preparations.

Citation. Mingazova M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Yu. V. The elemental profile of carp when using complex feed additives in the diet. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 384-392 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-43.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in planning, conducting and analyzing the results obtained. The submitted article was approved by all authors.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 577.1:639.3.043

ЭЛЕМЕНТНЫЙ ПРОФИЛЬ КАРПА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАЦИОНЕ КОМПЛЕКСНЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК

Мингазова М. С., кандидат биологических наук
 Мирошникова Е. П., доктор биологических наук, профессор
 Аринжанов А. Е., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
 Килякова Ю. В., кандидат биологических наук, доцент

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

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 075-15-2024-550).

Актуальность. Рыба – важный для населения продукт питания, содержащий огромное количество полезных витаминов и минералов. В последние годы роль рыболовства снизилась, при этом активно развивается аквакультура. Актуальным вопросом при выращивании рыб является кормление. Повысить качество рациона возможно за счет дополнительного внесения в него кормовых добавок. Например, широко распространёнными препаратами являются пробиотики, которые в сельском хозяйстве используют уже несколько десятилетий. Их действие направлено на повышение иммунитета и продуктивности выращиваемых гидробионтов. В то же время появляются новые потенциальные компоненты для использования в животноводстве. Например, вещества анти-кворум и ультрадисперсные частицы. Эти добавки показали хорошие результаты в кормлении животных, так как помимо увеличения роста и продуктивности отмечается улучшение обменных процессов при повышении иммунитета. Кроме того, сочетанное действие кормовых добавок может повысить качество рациона за счет синергетического эффекта. Цель исследования – изучить элементный профиль карпа при включении в рацион комплексных кормовых добавок. **Объект.** *Cyprinus carpio* (96±1 г). **Материалы и методы.** Эксперимент выполнен на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета. Учетный период длился 42 суток, в течение которого рыбам опытных групп вносили комплексные кормовые препараты. Контроль получал на протяжении всего исследования основной рацион (ОР). I группа – ОР + ванилин (25 мг/кг корма) + пробиотик (1 г/кг корма) + Zn (20 мг/кг корма) + I (0,6 мг/кг корма) + Cr (2 мг/кг корма) + Co (2 мг/кг корма); II группа – ОР + ванилин (25 мг/кг корма) + пробиотик (1 г/кг корма) + Zn (20 мг/кг корма) + I (0,6 мг/кг корма) + Cr (2 мг/кг корма) + Co (2 мг/кг корма) + УДЧ SiO₂ (200 мг/кг корма). Элементный профиль мышечной ткани карпа изучен в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» г. Москва (лицензия МДКЗ 18097/9556). **Результаты и выводы.** Включение в рацион карпа комплексных кормовых препаратов приводило к селективным изменениям в концентрации макро- и микроэлементов, способствуя повышению уровня кальция, натрия, железа. Дополнительное использование УДЧ SiO₂ оказывало лучший эффект на элементный статус. Общий элементный профиль (ЭП) в опытных группах представлен следующим образом: ЭП (I) = $\frac{\uparrow Na, Fe, \dots}{\downarrow B, Se, Mo, Sn, Pt}$; ЭП (II) = $\frac{\uparrow Ca, Na, Cr, Mn, Fe, Mo, Sr}{\downarrow B, Se, Sn, Hg}$.

Ключевые слова: рыборазведение, разведение карпа, кормление карпа, комплексные кормовые добавки, кормовые препараты.

Цитирование. Мингазова М. С., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Килякова Ю. В. Элементный профиль карпа при использовании в рационе комплексных кормовых добавок. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 384-392. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-43.

Авторский вклад. Все авторы данного исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении и анализе полученных результатов. Представленная статья одобрена всеми авторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Рыба является важным продуктом питания в рационе современного человека. Она содержит большое количество витаминов, минералов и биологически активных веществ, в том числе омега-3, витамин Д, кальций, магний и др. Потребление рыбы способствует развитию опорно-двигательной системе и костного аппарата у детей и снижает риск развития алиментарных заболеваний. В этой связи актуальным вопросом является выращивание рыбы в условиях аквакультуры, так как полностью обеспечить мировое население продуктами рыболовства уже не представляется возможным.

По мере развития аквакультуры остро стоят две основные проблемы: 1) выбор выращиваемых видов; 2) правильное и рациональное кормление. Первая проблема связана с тем, что аквакультура ориентирована на относительно небольшое число выращиваемых рыб и зависит от района, температуры, мощности хозяйства и других параметров. Вторая проблема более актуальна для нашей страны, так как на рынке выбор кормов очень обширный, но не все продукты могут отвечать требованиям хозяйства. При этом развитие аквакультуры в большой степени зависит от кормов. Правильный и сбалансированный рацион оказывает благоприятное влияние на здоровье, рост и размножение рыб [1].

В настоящее время для повышения качества рациона используют дополнительные кормовые препараты. Они способны оказать благоприятное воздействие на организм рыб, в том числе на повышение иммунитета и улучшение микробиоты, прироста и состояния здоровья. Кормовые добавки могут применять в качестве профилактики различных заболеваний. При этом препараты, используемые в настоящий момент в аквакультуре, не приводят к антибиотикорезистентности [2].

К кормовым добавкам относятся различные биологически активные вещества, среди которых некоторые активно используют в кормлении рыб на протяжении длительного времени (например, про- и пребиотики, фитобиотики), а некоторые – только начали изучать (например, ультрадисперсные частицы, вещества анти-кворум, микроводоросли). Кроме того, перспективно применять не однокомпонентные препараты, а комплексные вещества, так как в результате синергетического эффекта усиливается действие добавок на организм животных. В конечном счете, это приводит к повышению эффективности выращивания и улучшению продуктивности [3].

В нашем исследовании были использованы два комплекса, в состав которых входили ванилин (вещество анти-кворум), пробиотик, микроэлементы (Zn, I, Cr, Co) и во втором дополнительно вносили ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ SiO_2). Пробиотики относятся к «живым» кормовым добавкам, так как состоят из штаммов различных бактерий. В аквакультуре широкое распространение нашли штаммы *Bacillus*, *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*, представители которых встречаются в микробиоте кишечника пресноводных рыб. При добавлении пробиотиков в корм отмечают увеличение роста и снижение смертности, при этом повышается устойчивость к заболеваниям, что особенно важно для прудовых хозяйств. Таким образом, пробиотики широко распространены и популярны в сельском хозяйстве [4].

Применение различных микроэлементов в составе рациона рыб было изучено на протяжении длительного времени. Существует большое число различных микроэлементов, часть из которых относится к эссенциальным и участвует в важных функциях организма. Микроэлементы в составе кормов усиливают обмен веществ, синтез ферментов и образование гормонов. В аквакультуре их используют в различных формах – неорганических, органических и ультрадисперсных [5].

Относительно недавно начали изучать и использовать в кормлении гидробионтов ультрадисперсные частицы различных металлов. Благодаря своим малым размерам УДЧ легко проникают сквозь стенки кишечника и оказывают положительное действие на обменные процессы. Оптимально подобранная дозировка УДЧ может повысить рост и развитие рыб, приводя к улучшению антиоксидантной и ферментной активности [5].

Вместе с тем новым направлением в изучении кормовых препаратов является изучение веществ анти-кворум. Последние открытия в области микробиологии показали, что существует механизм межклеточной коммуникации бактерий организма-хозяина – чувство кворума, которое регулирует межвидовое взаимодействие и патогенез. Вещества анти-кворума способны оказывать влияние на экспрессию генов ряда микроорганизмов, в том числе патогенных. В целом применение веществ анти-кворума в кормлении рыб обосновано положительным влиянием на снижение заболеваемости и повышением эффективности выращивания гидробионтов [6].

Ванилин – ароматическая добавка с доказанным анти-кворум-эффектом. Он способен связывать сигнальные молекулы и ингибировать чувство кворума у бактерий [7]. Так, использование ванилина в составе микрокапсулированной смеси приводило к положительным изменениям в составе микробиома кишечника у радужной форели [8].

Другим моментом в изучении влияния кормовых препаратов в кормлении животных является исследование сочетанного действия препаратов и установление синергетических и антагонистических эффектов. Применение комплексных добавок может привести к росту продуктивности среди выращиваемых рыб и проявлять выраженный иммуномодулирующий эффект. Элементный статус является важным критерием оценки состояния организма. Гомеостаз элементов в мышечной ткани рыб принимает участие в различных функциях, в том числе оказывает воздействие на поддержание ферментной активности и стимулировании роста. Изменение ряда показателей может негативно отразиться на организме в целом, приведя к снижению не только роста, но и вызывая рост ряда заболеваний [9].

Таким образом, использование комплексных препаратов в кормлении рыб – актуальная тема в аквакультуре. Существует множество добавок, действие которых не изучено в комплексах с другими веществами.

Цель исследования – изучить элементный профиль карпа при включении в рацион комплексных кормовых добавок.

Материалы и методы. Исследования проведены в условиях Оренбургского государственного университета на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры на модели *Cyprinus carpio* (96±1 г). Учетный период составил 42 суток. Схема эксперимента представлена на рисунке 1.

Кормление рыб проводили ежедневно в светлое время суток. Суточная норма вносимых кормов составила от 2 до 5 %.

Элементный профиль изучен в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» г. Москва (лицензия МДКЗ 18097/9556).

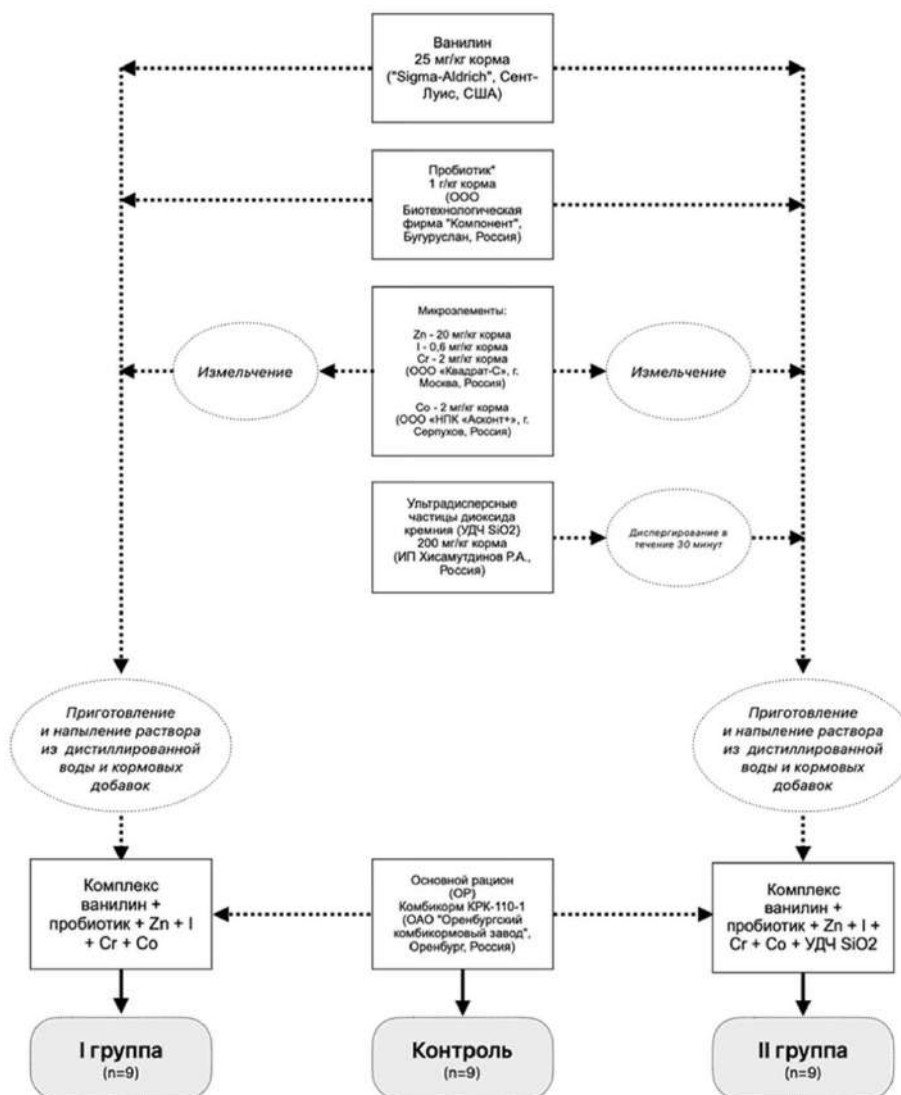


Рисунок 1 – Схема эксперимента
Figure 1 – The scheme of the experiment

Примечание: * – пробиотик на основе штаммов *Enterococcus faecium* (2×10^{10} КОЕ), *Lactobacillus plantarum* (1×10^5 КОЕ), *Lactobacillus buchneri* (1×10^5 КОЕ), *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii* (2×10^8 КОЕ), *Bifidobacterium bifidum* (1×10^9 КОЕ).

Note: * – probiotic based on the strains *Enterococcus faecium* (2×10^{10} CFU), *Lactobacillus plantarum* (1×10^5 CFU), *Lactobacillus buchneri* (1×10^5 CFU), *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii* (2×10^8 CFU), *Bifidobacterium bifidum* (1×10^9 CFU).

Статистическая обработка проведена с применением программ Microsoft Office и Statistica 10.0. Достоверные различия оценивались с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Использование комплексных кормовых препаратов привело к селективному изменению концентрации макро- и микроэлементов в мышечной ткани карпа (рисунки 2-5). Согласно достоверным результатам общий элементный профиль (ЭП) был представлен следующим образом: $\text{ЭП (I)} = \frac{\uparrow \text{Na, Fe,}}{\downarrow \text{B, Se, Mo, Sn, Pt}};$
 $\text{ЭП (II)} = \frac{\uparrow \text{Ca, Na, Cr, Mn, Fe, Mo, Sr}}{\downarrow \text{B, Se, Sn, Hg}}.$

Исследование уровня макроэлементов в мышцах рыб показало (рисунок 2), что концентрация натрия как в I, так и во II группе повышалась на 9 % ($P \leq 0,01$) и 19 % ($P \leq 0,001$) соответственно по сравнению с контролем.

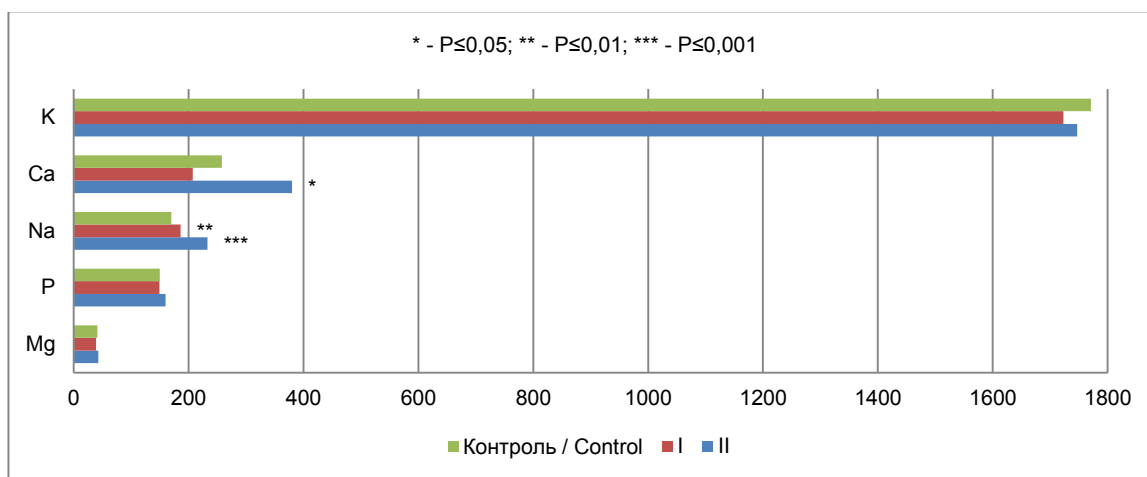


Рисунок 2 – Содержание в мышцах рыб макроэлементов, мкг/г
Figure 2 – The content of macronutrients in fish muscles, mcg/g

Кроме того, в I группе отметили увеличение кальция в 1,4 раза ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Изменение концентрации макроэлементов благоприятно влияет на организм животных и связано с регуляцией активности ферментов.

Изучение элементного профиля мышечной ткани рыб сопряжено с исследованием концентрации эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов. В качестве дополнительных элементов в составе кормов были использованы Zn, I, Cr и Co, которые могут положительно влиять на организм животных. Однако их применение не привело к достоверным отличительным результатам между опытными и контрольной группами (таблица 1, рисунок 3). Исключение было получено для концентрации хрома во II группе, где его уровень был выше контроля на 133 % ($P \leq 0,01$).

Таблица 1 – Содержание в мышцах рыб эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, мкг/г
Table 1 – The content of essential and conditionally essential trace elements in fish muscles, mcg/g

Наименование показателей / Name of indicators	Контроль / Control	I	II
Zn	11,1 ± 1,16	11,6 ± 0,31	10,4 ± 0,80
Cu	1,88 ± 0,16	2,14 ± 0,14	1,97 ± 0,10
Fe	6,67 ± 0,41	8,13 ± 0,55*	10,5 ± 0,63***
Si	63,8 ± 5,56	71,0 ± 5,07	72,6 ± 1,92
Cr	0,49 ± 0,1	0,46 ± 0,17	1,14 ± 0,17**

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$.

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$.

Таким образом, несмотря на литературные данные об эффективности применения микроэлементов в форме солей в кормлении рыб на элементный профиль [10], нами данная гипотеза не была подтверждена. При этом УДЧ SiO₂, включенные во II группу, возможно, способствовали лучшему всасыванию хрома из корма с дальнейшей аккумуляцией в мышечной ткани.

Зафиксировано, что комплексные кормовые добавки способствовали изменению уровня железа, бора, селена и молибдена как в I, так и во II группах по сравнению с контролем. При этом в I группе было отмечено снижение концентрации бора, селена и молибдена на 19 % ($P \leq 0,05$), 42 % ($P \leq 0,05$) и 43 % ($P \leq 0,05$), однако содержание железа увеличилось на 22 % ($P \leq 0,05$).

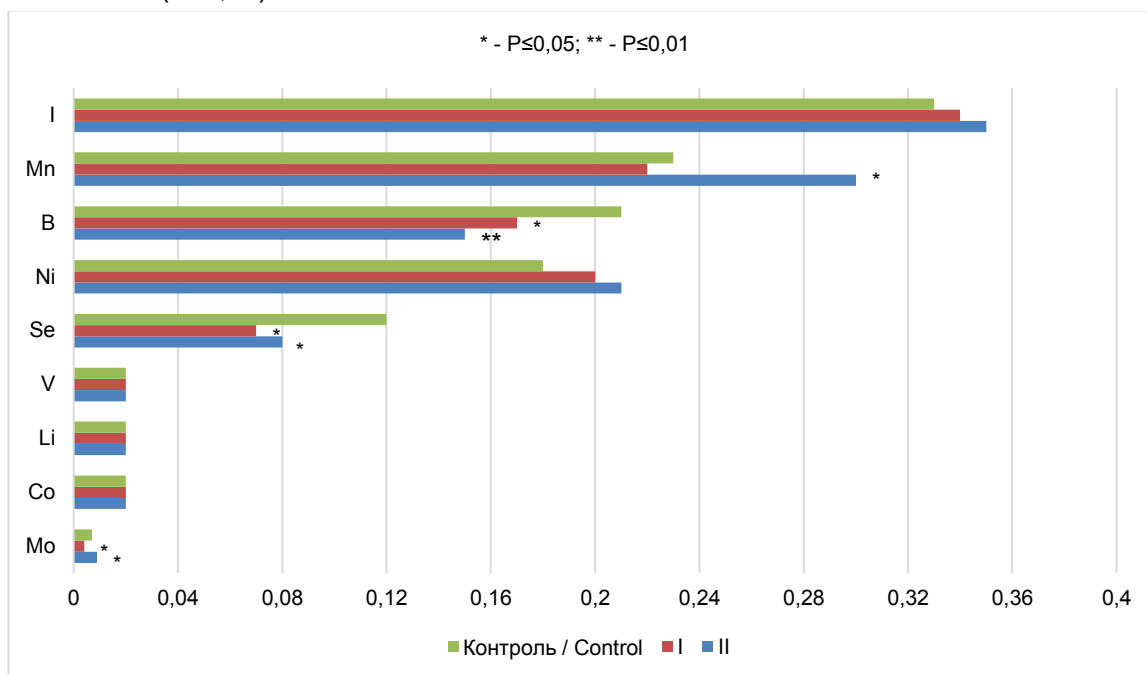


Рисунок 3 – Содержание в мышцах рыб эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, мг/г
Figure 3 – The content of essential and conditionally essential trace elements in fish muscles, mcg/g

Во II группе снижение было отмечено только для бора – на 29 % ($P \leq 0,01$) и селена – на 33 % ($P \leq 0,05$). Железо и молибден во II группе повышались по сравнению с контрольными значениями на 57 % ($P \leq 0,001$) и 29 % ($P \leq 0,05$) соответственно. Отдельно следует отметить увеличение концентрации марганца во II группе на 30 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Элементный профиль карпа во многом зависит от питания и воды. Изменение концентрации эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов в составе мышечной ткани может приводить к различным последствиям, например, их увеличение связывают с улучшением обменных процессов, повышением иммунитета и стимулированием прироста живой массы. В то же время возможен обратный эффект из-за специфических особенностей ряда кормовых препаратов, которые приводят к вымыванию некоторых микроэлементов из организма животных.

В целом биологически активные кормовые добавки оказывали положительное влияние на эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы в тканях рыб. Ранее отмечали, что некоторые препараты, включенные в рацион, могут приводить к вымыванию ряда микроэлементов из-за повышения активности антиоксидантных ферментов и активизации метаболизма [10]. Данный эффект можно компенсировать за счет включения УДЧ в рацион, так как они не приводят к вымыванию элементов из мышечной ткани.

К наиболее токсичным элементам относят мышьяк, кадмий, свинец и ртуть. Данные элементы обладают канцерогенными свойствами и могут накапливаться в организме гидробионтов, а затем по пищевой цепочке передаваться потребителю [11].

Исследование концентрации токсических элементов в мышечной ткани карпа (рисунок 4) привело к следующим результатам. Достоверное изменение в I группе по сравнению с контролем отмечено только по отношению к уровню олова, который был ниже на 80 % ($P \leq 0,01$).

В то же время во II группе выявлено значительное снижение ртути – на 40 % ($P \leq 0,05$) и олова – на 91 % ($P \leq 0,001$), при этом стронций возрастал на 62 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля. Несмотря на повышение стронция и его возможное негативное влияние на организм гидробионтов, концентрация данного элемента во II группе не превышала допустимых значений [12].

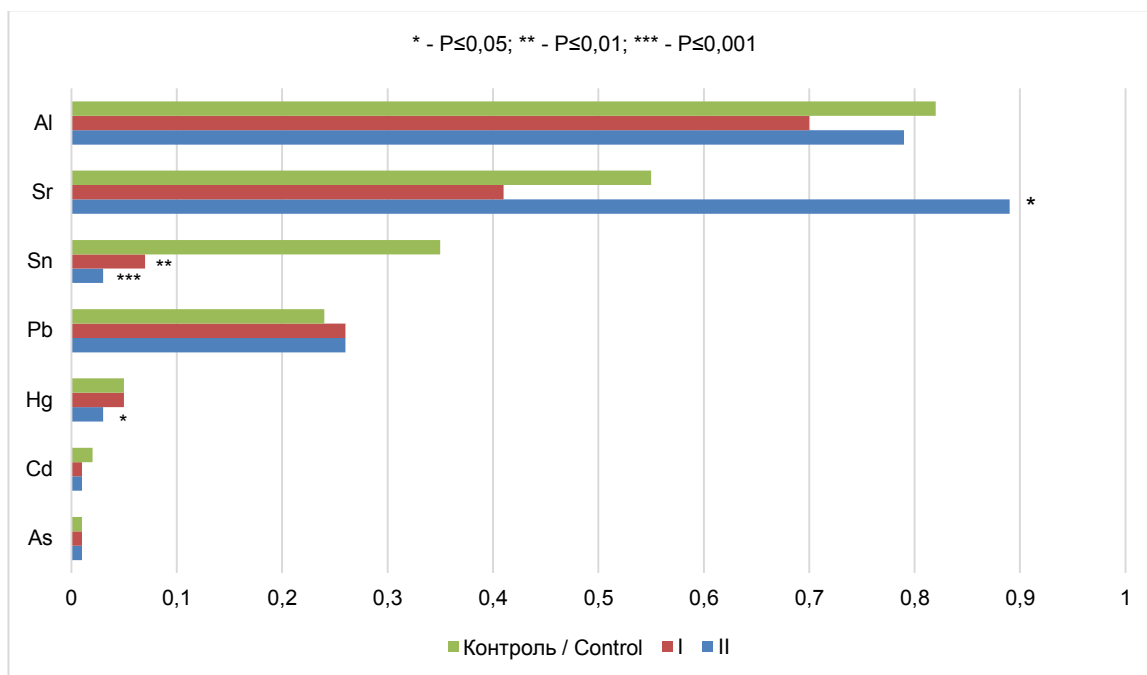


Рисунок 4 – Содержание в мышцах рыб токсических элементов, мкг/г
Figure 4 – The content of toxic elements in the muscles of fish, mcg/g

Развитие современной элементологии связано с выявлением новых элементов в составе мышечной ткани животных. Например, нами исследованы потенциально токсические и малоизученные элементы – галлий, цезий, платина, самарий и другие (рисунок 5). Незначительное содержание данных микроэлементов в тканях рыб допустимо вследствие их аккумуляции в живых организмах. Серьезных изменений в концентрации этих микроэлементов в опытных группах по сравнению с контролем не зафиксировано. Достоверные различия были установлены только в I группе, где концентрация платины снижалась на 86 % ($P \leq 0,05$).

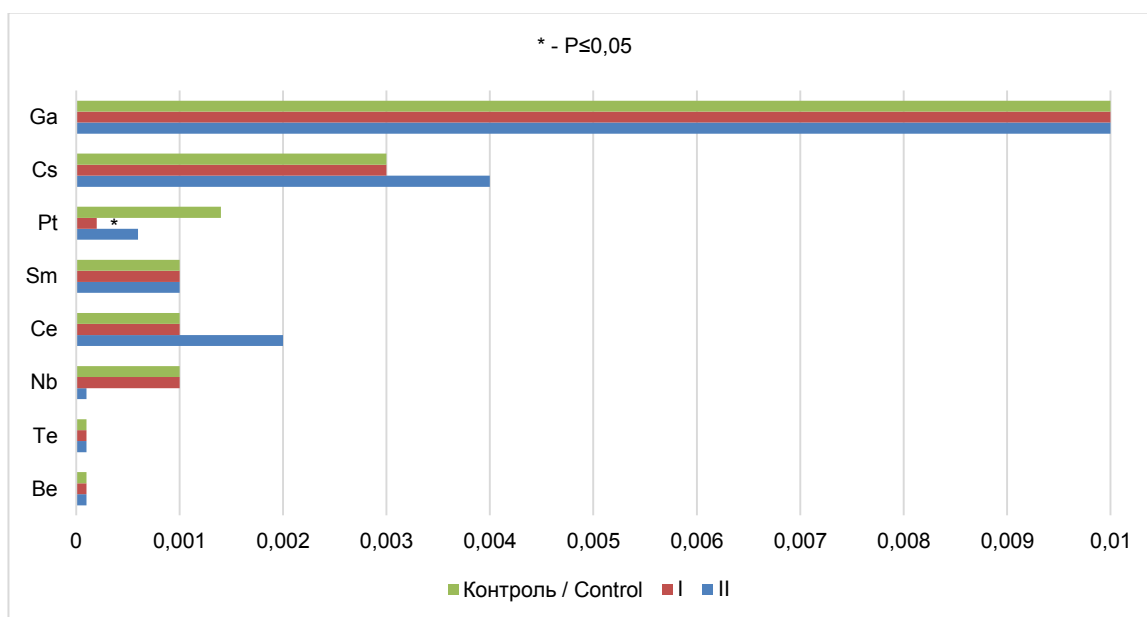


Рисунок 5 – Содержание в мышцах рыб потенциально токсических и малоизученных элементов, мкг/г
Рисунок 5 – The content of potentially toxic and poorly studied elements in fish muscles, mcg/g

Изучение влияния кормовых препаратов на элементный статус животных является важной составляющей в современных научных исследованиях. Элементный профиль, изучаемый посредством выявления концентрации различных макро- и микроэлементов в мышечной ткани рыб, применяется с целью оценки элементного баланса в организме и выявления избытка или дефицита тех или иных элементов. Использование результатов элементного профиля помогает при профилактике и лечении микроэлементозов в связи с ранним его выявлением. Кроме того, это помогает в мониторинге здоровья гидробионтов и оценке влияния окружающей среды на организм, так как часть элементов поступает в организм через воду. С другой стороны, элементный статус необходим при изучении включения различных кормовых препаратов в составе рационов, так как это помогает оценить полноценную картину влияния добавок на организм животных. Изменение элементного профиля сопряжено с ростом и продуктивностью гидробионтов, а также с возможностью аккумуляции ряда элементов в мышечной ткани рыб и передаче по пищевой цепочке потенциальному потребителю [13].

Полученные нами образцы мышечной ткани контрольной и опытных групп являются безопасными для употребления в пищу. Таким образом, применяемые в составе рациона ванилин, пробиотик, микроэлементы и УДЧ не приводили к ухудшению элементного профиля. Концентрация ряда элементов повышалась, в то же время изменялось отношение токсических элементов в мышечной ткани рыб. Данные изменения сопряжены с общим улучшением состояния организма карпа, в том числе на фоне этого возможно повышение иммунитета, роста и обменных процессов. Кроме того, дополнительное включение в состав кормовых препаратов УДЧ приводило к лучшему результату, что получило отражение в концентрации макро- и микроэлементов.

Заключение. Включение в рацион карпа комплексных кормовых добавок приводило к селективным изменениям в концентрации химических элементов в мышечной ткани. Общая формула элементного профиля подопытных рыб выглядела так: $ЭП(I) = \frac{\uparrow Na, Fe, \dots}{\downarrow B, Se, Mo, Sn, Pt}$; $ЭП(II) = \frac{\uparrow Ca, Na, Cr, Mn, Fe, Mo, Sr}{\downarrow B, Se, Sn, Hg}$. Таким образом, дополнительное применение УДЧ SiO_2 в комплексной добавке стимулировало повышение ряда макроэлементов и жизненно-необходимых микроэлементов в мышечной ткани карпа.

Conclusions. The inclusion of complex feed additives in the diet of carp led to selective changes in the concentration of chemical elements in muscle tissue. The general scheme of changing the elemental profile of the experimental fish looked like this: $EP(I) = \frac{\uparrow Na, Fe, \dots}{\downarrow B, Se, Mo, Sn, Pt}$; $EP(II) = \frac{\uparrow Ca, Na, Cr, Mn, Fe, Mo, Sr}{\downarrow B, Se, Sn, Hg}$. Thus, the additional use of ultrafine particles SiO_2 in a complex supplement stimulated an increase in a number of macronutrients and vital trace elements in the tissue of carp.

Библиографический список

1. Fiorella K. J., Okronipa H., Baker K., Heilpern S. Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. *Curr Opin Biotechnol.* 2021. V. 70. Pp. 83-90.
2. Beltrán J. M. G., Esteban M. A. Nature-identical compounds as feed additives in aquaculture. *Fish Shellfish Immunol.* 2022. V. 123. Pp. 409-416.
3. Puri P., Singh R., Sharma J. Micro-/bio-/nano-/syn-encapsulations and co-treatments of bioactive microbial feed supplementation in augmenting finfish health and aquaculture nutrition: a review. *Benef Microbes.* 2023. V. 14 (3). Pp. 281-302.
4. Elshafy M. B. A., Abd El-Monem A. I. M., Khatib I. M., Fadl S. E., Khadiga G. A. Nutritional impact of nano zeolite, probiotic, and fatty acids as feed additives on health status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Sci Rep.* 2023. V. 13 (1). P. 22740.
5. Dawood M. A. O., Alagawany M., Sewilam H. The Role of Zinc Microelement in Aquaculture: a Review. *Biol Trace Elem Res.* 2022. V. 200 (8). Pp. 3841-3853.
6. Alexpandi R., Abirami G., Satish L., Swasthikka R. P., Krishnaveni N., Jayakumar R., Pandian S. K., Ravi A. V. Tocopherol and phytol possess anti-quorum sensing mediated anti-infective behavior against *Vibrio campbellii* in aquaculture: An in vitro and in vivo study. *Microb Pathog.* 2021. V. 161 (Pt A). P. 105221.
7. Власенко Л. В., Атландерова К. Н., Дускаев Г. К., Шошин Д. Е. Влияние фитохимических веществ на сигнальные молекулы системы «quorum sensing» у бактерий. *Международный вестник ветеринарии.* 2023. № 2. С. 25-31.
8. Pelusio N. F., Rossi B., Parma L., Volpe E., Ciulli S., Piva A., D'Amico F., Scicchitano D., Candela M., Gatta P. P., Bonaldo A., Grilli E. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. *Fish Shellfish Immunol.* 2020. V. 107 (Pt A). Pp. 324-335.
9. Шленкина Т. М., Романова Е. М., Романов В. В., Любомирова В. Н. Иммуномодулирующие свойства ряда биологически активных кормовых добавок. *Вестник УГСХА.* 2021. № 4 (56). С. 130-135.

10. Аринжанова М. С., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Килякова Ю. В. Комплексное использование биологически активных добавок в составе корма для карпа (*Cyprinus carpio*). Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2024. № 2. С. 130-136.

11. Milošević A., Simić V. Bioaccumulation of potentially toxic elements in fish species of Serbia: a review. Environ Sci Pollut Res Int. 2023. V. 30 (12). Pp. 32255-32277.

12. Kumar N., Chandan N. K., Bhushan S., Singh D. K., Kumar S. Health risk assessment and metal contamination in fish, water and soil sediments in the East Kolkata Wetlands, India, Ramsar site. Sci Rep. 2023. V. 13 (1). P. 1546.

13. Rahman M. M., Shehzad M. T., Nayak A. K., Sharma S. Yeasmin M., Samanta S., Correll R., Naidu R. Health risks from trace elements in muscles of some commonly available fish in Australia and India. Environ Sci Pollut Res Int. 2020. V. 27 (17). Pp. 21000-21012.

References

1. Fiorella K. J., Okronipa H., Baker K., Heilpern S. Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. Curr Opin Biotechnol. 2021. V. 70. Pp. 83-90.

2. Beltrán J. M. G., Esteban M. A. Nature-identical compounds as feed additives in aquaculture. Fish Shellfish Immunol. 2022. V. 123. Pp. 409-416.

3. Puri P., Singh R., Sharma J. Micro-/bio-/nano-/syn-encapsulations and co-treatments of bioactive microbial feed supplementation in augmenting finfish health and aquaculture nutrition: a review. Benef Microbes. 2023. V. 14 (3). Pp. 281-302.

4. Elshafy M. B. A., Abd El-Monem A. I. M., Khattab I. M., Fadl S. E., Khadiga G. A. Nutritional impact of nano zeolite, probiotic, and fatty acids as feed additives on health status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Sci Rep. 2023. V. 13 (1). P. 22740.

5. Dawood M. A. O., Alagawany M., Sewilam H. The Role of Zinc Microelement in Aquaculture: a Review. Biol Trace Elem Res. 2022. V. 200 (8). Pp. 3841-3853.

6. Alexandri R., Abirami G., Satish L., Swasthika R. P., Krishnaveni N., Jayakumar R., Pandian S. K., Ravi A. V. Tocopherol and phytol possess anti-quorum sensing mediated anti-infective behavior against *Vibrio campbellii* in aquaculture: An in vitro and in vivo study. Microb Pathog. 2021. V. 161 (Pt A). P. 105221.

7. Vlasenko L. V., Atlanderova K. N., Duskaev G. K., Shoshin D. E. The effect of phytochemicals on the signaling molecules of the "quorum sensing" system in bacteria. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2023. V. 2. Pp. 25-31.

8. Pelusio N. F., Rossi B., Parma L., Volpe E., Ciulli S., Piva A., D'Amico F., Scicchitano D., Candela M., Gatta P. P., Bonaldo A., Grilli E. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. Fish Shellfish Immunol. 2020. V. 107 (Pt A). Pp. 324-335.

9. Shlenkina T. M., Romanova E. M., Romanov V. V., Lyubomirova V. N. Immunomodulating properties of a number of biologically active feed additives. Vestnik Of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. V. 4 (56). Pp. 130-135.

10. Arinzhanova M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Y. V. Complex use of biologically active additives in carp (*Cyprinus carpio*) feed composition. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products. 2024. V. 2. Pp. 130-136.

11. Milošević A., Simić V. Bioaccumulation of potentially toxic elements in fish species of Serbia: a review. Environ Sci Pollut Res Int. 2023. V. 30 (12). Pp. 32255-32277.

12. Kumar N., Chandan N. K., Bhushan S., Singh D. K., Kumar S. Health risk assessment and metal contamination in fish, water and soil sediments in the East Kolkata Wetlands, India, Ramsar site. Sci Rep. 2023. V. 13 (1). P. 1546.

13. Rahman M. M., Shehzad M. T., Nayak A. K., Sharma S. Yeasmin M., Samanta S., Correll R., Naidu R. Health risks from trace elements in muscles of some commonly available fish in Australia and India. Environ Sci Pollut Res Int. 2020. V. 27 (17). Pp. 21000-21012.

Информация об авторах

Мингазова Марина Сергеевна, кандидат биологических наук, ассистент кафедры, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>, e-mail: ms.mingazova@gmail.com

Мирошникова Елена Петровна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>, e-mail: elenaakva@rambler.ru

Аринжанов Азамат Ерсанович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>, e-mail: arin.azamat@mail.ru

Килякова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>, e-mail: fish-ka06@mail.ru

Authors' Information

Mingazova Marina Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, assistant of the Department, Orenburg State University (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13), <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>, e-mail: ms.mingazova@gmail.com

Miroshnikova Elena Petrovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Orenburg State University (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13), <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>, e-mail: elenaakva@rambler.ru

Arinzhonov Azamat Ersanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Orenburg State University (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13), <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>, e-mail: arin.azamat@mail.ru

Kilyakova Julia Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Orenburg State University (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Avenue, 13), <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>, e-mail: fish-ka06@mail.ru

**THE REVIEW AND DEVELOPMENT OF THE SYNCHRONIZATION PROGRAM FOR SEXUAL
HEAT IN SHEEP****Soluyanova Yu. V., Pereryadkina S. P., Ushakov M. A., Garanin M. V.***Volgograd State Agrarian University Volgograd
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: fantaziya007@mail.ru

Received 08.04.2025

Submitted 17.04.2025

Summary

The article presents an overview of the results obtained by researchers in the field of reproduction of female small cattle, with examples of the use of hormonal drugs to enhance sexual function in females in a comparative aspect based on the results of research by domestic and foreign authors. The results of the application of a scheme for synchronizing sexual hunting in ewes, including prostaglandin F2a (Estrophanthin) and gonadotropin-releasing hormone (Lecireline), in combination with vitamin preparations (Trivitamin, E-selenium) and a royal jelly (Uterotone), which increased the percentage of fertilization of sheep from the first insemination by more than 13 %, are presented.

Abstract

Introduction. Synchronization of sexual hunting in sheep is an important tool in modern sheep breeding, which makes it possible to increase the efficiency of herd reproduction. Synchronization allows you to plan lambing at a time convenient for the farmer, which facilitates the organization of feeding, care and veterinary services, helps to shorten the lambing period, which allows you to get more age-homogeneous young animals, which is important for further rearing and fattening. It allows for more efficient use of breeding sheep, reducing the time and labor required to identify hunting in sheep, and faster implementation of genetic improvements in the herd, as it makes it possible to control the mating and selection process.

The purpose. To review the results obtained by researchers in the field of the use of hormonal drugs in the synchronization of sexual hunting in female small cattle and to test a scheme for stimulating sexual activity in sheep using drugs containing prostaglandin F2a and gonadotropin-releasing hormone, in combination with vitamin preparations and a means for stimulating the myometrium.

Materials and methods. The experimental part of the study was conducted in 2023-2024 on the basis of the center for breeding, breeding and testing of sheep feeding systems of the Volgograd State Agrarian University on Volgograd sheep breeds. To form the control and experimental groups, sheep of the second lambing were selected using the method of pairs of analogues of 30 heads each. In the experimental group of ewes, the regimen began on Monday (day 0), Estrophanthin was injected intramuscularly into the sheep of the experimental group at a dose of 0.5 ml, and Trivitamin was administered at a dose of 1 ml on the same day, according to the instructions for use. Then, on day 6, Estrophanthin was injected intramuscularly and re-administered at the same dosage on day 7. On Wednesday, the drug Lecireline in a dose of 1 ml was administered to stimulate the adenohypophysis to secrete follicle-stimulating hormone (FSH) and luteinizing hormone (LH). The next day, on Thursday, Uterotone (5 ml) was administered intramuscularly once and artificial insemination of sheep was performed using the visocervical method. For the control group, a scheme was used with double administration of prostaglandin (Estrophanthin) at 11-day intervals, at a dose of 0.5 ml per injection. The percentage of fertilization was determined by the ratio of the number of pregnant ewes to the total number of females in the group. The severity of the females was determined by ultrasound examination on the 30th day after insemination.

Results and conclusions. As a result of the review of the results obtained from the use of hormonal drugs, it can be seen that the use of synchronization schemes for sexual hunting in sheep, both during the breeding campaign and during sexual extinction, has a positive effect, namely, it increases the percentage of fertilization in females. The scheme using the hormonal drugs Estrophanthin and Lecireline in combination with Trivitamin, E-selenium and additionally on the day of insemination, Uterotone, increased the percentage of fertilization from the first insemination of ewes by 13.33 %. The rate of offspring yield in the females of the experimental group was 3.4 % higher than in the control group. And when determining the yield of lambs in experimental groups of females with induced sexual hunting, compared with the group of females who did not receive hormonal drugs, it was higher by 10.8 %. It is also worth noting that the safety rate of lambs in the experimental group was higher by 5.05 % compared to the control group, which does not exclude a positive effect when using vitamin preparations.

Keywords: sexual heat, hormonal drugs, prostaglandin F2a, gonadotropin-releasing hormone, Lecirelin, Estrophanthin, percentage of fertilization of sheep.

Citation. Soluyanova Yu. V., Pereryadkina S. P., Ushakov M. A., Garanin M. V. The review and development of the synchronization program for sexual heat in sheep. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 393-401 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-44.

Author's contribution. The team of authors represented in this publication actively participated in the development of the research concept, its implementation and the subsequent analysis of the data obtained. Each of the authors of the article reviewed the final version of the paper and expressed their agreement with its content.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 636.3.082.455

ОБЗОР И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ПОЛОВОЙ ОХОТЫ У ОВЕЦ

Солуянова Ю. В., аспирант

Перерядкина С. П., кандидат ветеринарных наук, доцент

Ушаков М. А., кандидат сельскохозяйственных наук

Гаранин М. В., аспирант

*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Синхронизация половой охоты у овец – важный инструмент в современном овцеводстве, который позволяет повысить эффективность воспроизводства стада. Синхронизация позволяет планировать окот в удобное для фермера время, что облегчает организацию кормления, ухода и ветеринарного обслуживания, помогает сократить период ягнения, что позволяет получать более однородный по возрасту молодняк, что важно для дальнейшего выращивания и ма. Позволяет более эффективно использовать племенных баранов, сокращая время и трудозатраты на выявление охоты у овец, быстрее внедрять генетические улучшения в стаде, так как дает возможность контролировать процесс спаривания и отбора. **Цель.** Провести обзор полученных результатов исследователей в области применения гормональных препаратов при синхронизации половой охоты у самок мелкого рогатого скота и провести апробацию схемы для стимуляции половой активности у овцематок с применением препаратов, содержащих простагландин F2α и гонадотропин-рилизинг-гормон, в сочетании с витаминными препаратами и средство для стимуляции миометрия. **Материалы и методы.** Экспериментальная часть исследования была проведена в 2023-2024 гг. на базе центра по селекции, разведению и апробации систем кормления овец Волгоградского ГАУ на овцематках волгоградской породы. Для формирования контрольной и опытной группы были отобраны овцематки второго окота по методу пар-аналогов по 30 голов. В опытной группе овцематок схему начинали в понедельник (0 день), овцам опытной группы внутримышечно вводили Эстрофантин в дозе 0,5 мл, в этот же день вводили препарат Тривитамин в дозе 1 мл, согласно инструкции по применению. Затем на 6 день внутримышечно инъектировали Эстрофантин и на 7 день повторно вводили в той же дозировке. В среду вводили для стимуляции аденогипофиза на секрецию фолликуло-стимулирующего (ФСГ) и лютеинизирующего гормонов (ЛГ) препарат Лецирелин в дозе 1 мл. На следующий день в четверг вводили внутримышечно однократно препарат Утеротон (5 мл) и проводили искусственное осеменение овец визоцервикальным способом. Для контрольной группы использовали схему с двукратным применением простагландина (Эстрофантин) с 11-дневным интервалом, в дозе 0,5 мл на одно введение. Процент оплодотворения определяли путем соотношения количества суягных овцематок к общему числу самок в группе. Суягность самок устанавливали методом ультразвукового исследования на 30 день после осеменения. **Результаты выводы.** В результате проведенного обзора полученных результатов применения гормональных препаратов видно, что использование схем синхронизации половой охоты у овец, как во время случной кампании, так и в период полового угасания, имеет положительный эффект, а именно, позволяет повысить процент оплодотворяемости у самок. Схема с применением гормональных препаратов Эстрофантин и Лецирелин в сочетании с Тривитамин, Е-селен и дополнительно в день осеменения Утеротон, позволила повысить процент оплодотворения от первого осеменения овцематок на 13,33 %. Показатель выход приплода у самок опытной группы был выше на 3,4 % по отношению к контрольной. А при определении показателя выхода ягнят в экспериментальных группах самок с индуцированной половой охотой по сравнению с группой самок, которым не применяли гормональных препаратов он был выше на 10,8 %. Также стоит отметить, что показатель сохранности ягнят в опытной группе был выше на 5,05 % по отношению к контрольной, что не исключает положительный эффект при применении витаминных препаратов.

Ключевые слова: половая охота, гормональные препараты, простагландин F2α, гонадотропин рилизинг-гормон, Лецирелин, Эстрофантин, процент оплодотворения овец.

Цитирование. Солуянова Ю. В., Перерядкина С. П., Ушаков М. А., Гаранин М. В. Обзор и разработка программы синхронизации половой охоты у овец. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 393-401. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-44.

Авторский вклад. Авторский коллектив, представленный в данной публикации, активно участвовал в разработке концепции исследования, его реализации и последующем анализе полученных данных. Каждый из авторов статьи ознакомился с финальной версией работы и выразил свое согласие с ее содержанием.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Синхронизация половой охоты у овец – это важный инструмент управления воспроизводством, позволяющий получить более компактный окот, увеличить плодovitость и повысить эффективность производства.

Известно, что овцы и козы относятся к полициклическим животным с четко выраженным половым сезоном, который приходится на сентябрь-декабрь. Учитывая сезонность размножения, осеменение овец/коз проводят, как правило, в октябре-ноябре.

На сегодняшний момент в современных хозяйствах по разведению овец и коз искусственное осеменение самок проводят при выявлении спонтанной половой охоты. (Айбазов А. М., 2014 г.) Случная кампания овец в сельскохозяйственных предприятиях является трудо- и энергозатратной, так как может продолжаться от 1,5 до 3,0 месяцев.

К настоящему времени разработаны схемы с применением гормональных препаратов, которые способствуют проявлению половой охоты у самок.

Для выбора программы синхронизации половой охоты у овец необходимо четкое понимание физиологических процессов в половой системе самок во время полового цикла, а особенно, функционирование фолликулов и желтого тела.

Цикл размножения у овец, как и у других млекопитающих, регулируется сложным взаимодействием нервной и эндокринной систем. Данный процесс состоит из определенных этапов, контролируемых гормонами, которые координируют работу репродуктивных органов. Рассмотрим основные механизмы нейрогуморальной регуляции полового цикла у овец.

Одну из ведущих ролей в регуляции циклических изменений репродуктивного процесса принадлежит гипоталамусу [4], который синтезирует и выделяет гонадотропин-рилизинг гормон (ГнРГ). На стимуляцию его выработки влияют следующие факторы: фото-период (длина светового дня) и феромоны. Овцы относятся к животным с сезонным размножением, и сокращение светового дня осенью и присутствие барана стимулирует активность гипоталамуса. Также учитываем как фактор влияния – это состояние организма животного, а именно, его уровень питательных веществ, стресс и т.д. В ответ на стимуляцию гонадотропин-рилизинг-гормоном (ГнРГ) гипофиз секретирует два главных гонадотропина: фолликулостимулирующий гормон (ФСГ) и лютеинизирующий гормон (ЛГ). ФСГ играет ключевую роль в росте и созревании фолликулов в яичниках, стимулируя параллельно синтез эстрогенов в этих фолликулах. Под воздействием ЛГ происходит разрыв зрелого фолликула и выход яйцеклетки, а также стимулирует образование желтого тела (лютеинизацию). Яичники играют центральную роль в половом цикле, выделяя половые гормоны, которые регулируют процессы в репродуктивной системе. Вырабатываемые растущими фолликулами в яичниках эстрогены стимулируют проявление течки, половой охоты у овец и вызывают изменения в половых путях (увеличение секреции слизи, гиперемия). Разрыв фолликула инициирует формирование желтого тела (ЖТ), эндокринной структуры, секретирующей прогестерон. Этот гормон подготавливает матку к имплантации эмбриона, способствуя утолщению эндометрия и подавляя сократительную активность миометрия. Одновременно, прогестерон оказывает негативную обратную связь на гипоталамус, ингибируя секрецию ГнРГ и, как следствие, подавляя выработку гонадотропинов, тем самым предотвращая развитие новых фолликулов. В свою очередь, матка выделяет простагландины, действие которых направлено на рассасывание желтого тела, и концентрация прогестерона в крови падает, что запускает новый цикл выработки гонадотропных и гонадоидальных гормонов.

Регуляция полового цикла осуществляется по принципу отрицательной и положительной обратной связи. Отрицательная обратная связь заключается в том, что высокая концентрация в крови уровня прогестерона подавляет выделение ГнРГ и гонадотропинов, что предотвращает развитие новых фолликулов. А **положительная обратная связь** основана на том, что высокий уровень эстрогенов перед овуляцией стимулирует выброс ЛГ, что приводит к овуляции.

На основе изложенного, можно определить, что нейрогуморальная регуляция полового цикла у овец представляет собой сложный процесс, в котором участвуют гипоталамус, гипофиз, яичники и половые гормоны. Понимание этих механизмов позволяет эффективно управлять воспроизводством стада, применяя методы синхронизации охоты и искусственного осеменения для повышения продуктивности овцеводства.

Цель нашего исследования – провести обзор полученных результатов исследований в области применения гормональных препаратов при синхронизации половой охоты у самок мелкого рогатого скота и провести апробацию схемы для стимуляции половой ак-

тивности у овцематок с применением препаратов, содержащих простагландин и гонадотропин-рилизинг-гормон, в сочетании с витаминными препаратами и средство для стимуляции миометрия.

Материалы и методы. Для проведения обзора по полученным результатам применения схем синхронизации половой охоты у самок мелкого рогатого скота использовали публикации авторов в базах данных РИНЦ, ФИПС.

Экспериментальная часть исследования была проведена в 2023-2024 гг. на базе центра по селекции, разведении и апробации систем кормления овец Волгоградского ГАУ на овцематках волгоградской породы. Для формирования контрольной и опытной группы были отобраны овцематки второго окота по методу пар-аналогов по 30 голов. В опытной группе самок использовали схему синхронизации половой охоты включающую введение простагландина F2 α (0 день), его повторное введение на 6 день и 7 день и инъекции гонадотропин-рилизинг гормона (ГнРГ) через 24 часа после последней инъекции простагландина F2 α . Первая инъекция ПГФ2 α направлена на разрушение желтого тела и прекращение секреции прогестерона, что приводит к началу нового полового цикла. Повторное двукратное введение ПГФ2 α направлено на завершение лютеолиза у всех животных, включая тех, у которых желтое тело не разрушилось после первого введения. Применение через 24 часа после введения простагландина F2 α гонадотропин-рилизинг гормона способствует стимуляции выброса лютеинизирующего гормона (ЛГ) и синхронизации овуляции у овцематок. Для опытной группы препаратами выбора для схемы синхронизации стали Лецирелин (Биовета (Bioveta), Чехия), который представляет собой синтетический аналог гонадотропин рилизинг-гормона, в 1 мл препарата в качестве действующего вещества содержится лецирелин – 0,025 мг. Была определена экспериментальная дозировка 1 мл на одну овцематку. Эстрофантин (НПК Асконт+, Россия), в качестве действующего вещества содержит клопростенол (синтетический аналог простагландина ПГФ2 α), доза на одну овцематку составило 0,5 мл. Выбор данных гормональных препаратов основывался на высокой эффективности при их применении на самках крупного рогатого скота герефордской породы в условиях учебного научно-производственного центра Волгоградского ГАУ. Дополнительно в схему включили препарат Тривитамин в дозировке 1 мл, согласно инструкции по применению, содержащий витамин А, для повышения цитотоксической активности клеток слизистой оболочки матки и маточных желез у самок, способствует улучшению развития фолликулов и эмбрионов. Затем в схему добавили препарат Е-селен, как мощный антиоксидант, защищающий клетки от окислительного стресса, витамин Е играет важную роль в контроле оксидативного стресса (Liu S., 2014 г.), тем самым усиливает функции желтого тела и способствует повышению выживаемости эмбрионов. В день осеменения вводили препарат Утеротон в дозе 5 мл для стимуляции сокращения миометрия с целью улучшения продвижения спермиев по половым путям самки.

Для контрольной группы использовали схему с применением гонадотропин-рилизинг-гормон (Лецирелин) однократно при осеменении.

Искусственное осеменение самок опытной и контрольной групп проводили визоцервикальным способом, использовали свежеполученную сперму баранов-производителей волгоградской породы в объеме 0,1 мл на одну овцематку.

Определение самок в половой охоте осуществляли путем клинического исследования наружных половых органов на наличие течи. Процент оплодотворения определяли путем определения суягности у самок методом ультразвукового исследования. Исследование на суягность проводили ветеринарным УЗИ – сканером Partner PS-90V. Самок контрольной и опытной групп на 30 день осеменения фиксировали в стоячем положении, помощник слегка приподнимал заднюю часть тела овцематки. На сканере выбирали режим для исследования мелких животных (овец), устанавливали частоту датчика в диапазоне 5–7,5 МГц для оптимальной визуализации, наносили акустический гель на кожу овцы в области нижней части живота, ближе к вымени. Все исследования на животных были проведены при соблюдении требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года № 2010/63/ЕС о защите животных, использующихся для научных целей, и принципов обращения с животными согласно статье 4ФЗ РФ № 498-ФЗ33.

Согласно разработанной схеме таблица 1, программу начинали в понедельник (0 день), овцам внутримышечно вводили Эстрофантин в дозе 0,5 мл, который способствует быстрому лизису желтого тела и активации местного иммунитета слизистой матки, а также

для повышения тонуса гладкой мускулатуры матки, в этот же день вводили препарат Три-витамины в дозе 1 мл, содержащий витамин А, для повышения цитотоксической активности клеток слизистой оболочки матки и маточных желез. Затем на 6 день внутримышечно инъектировали Эстрофантин и на 7 день повторно в той же дозировке. В среду вводили, для стимуляции аденогипофиза на секрецию фолликулостимулирующего (ФСГ) и лютеинизирующего гормонов (ЛГ) препарат Лецирелин в дозе 1 мл плюс препарат Е-селен в дозе 1,5 мл. На следующий день в четверг вводили внутримышечно однократно препарат Утеротон (5 мл), для повышения сокращения гладкой мускулатуры матки с целью повышения продвижения спермиев по половым путям самки, и проводили искусственное осеменение овец визоцервикальным способом [10].

Таблица 1 – Схема синхронизации половой охоты у овец
Table 1 – Synchronization scheme of sexual heat in sheep

Неделя / week	Пн / Monday	Вт / Tuesday	Ср / Wednesday	Чт / Thursday	Пт / Friday	Сб / Saturday	Вс / Sunday
	Эстрофантин + Тривитамин / Estrophanthin + Trivitamin						Эстрофантин / Estrophanthine
	Эстрофантин / Estrophanthine		Лецирелин + Е-селен / Lecirelin + E-selenium	ИО + Утеротон / IO + Uteroton			

Для контрольной группы использовали схему с двукратным применением простагландина (Эстрофантин) с 11-дневным интервалом, в дозе 0,5 мл на одно введение.

Для определения количества рожденных ягнят на группу был проведен расчет по отношению количества живых рожденных ягнят к количеству самок в группе и переводили в проценты.

Для определения влияния гормональной обработки на количество рожденных ягнят по группе самок, дополнительно сформировали еще одну группу самок методом пар-аналогов, у которых не индуцировали эструс и осеменение проходило по выведению самцом-пробником половой охоты в том количестве сколько было суягных самок в экспериментальных группах. И провели сравнение показателя выхода ягнят на группу самок с индуцированной охотой и с данным показателем у самок с естественной половой охотой.

Результаты и обсуждение. Первой схемой для нашего обзора послужила схема двукратного введения ПГФ_{2α} с 11-дневным интервалом, или с интервалом от 9 до 14 дней В своем опыте исследователи выборку маток в охоте и их осеменение проводили после второй инъекции простагландина, а повторно, через 11 дней, вводили ПГФ_{2α} только тем животным, которые не проявили охоту после первой инъекции препаратов. Результаты данного опыта свидетельствуют о том, что синхронизация охоты у коз различными препаратами простагландина позволяет осеменить 79,4 % животных после первого введения препаратов (Малахова Л. С. и др., 2003 г.).

Следующая схема, которая применяется у мелкого рогатого скота это применение прогестерона и ГнРГ для активизации половой функции у самок.

По данным автора А.К. Зонтурлу и его коллег, которые при синхронизации эструса использовали интравaginaльные спонжи, содержащие 20 мг ацетата флуорогестона (Chrono-gest®, «Intervet», Стамбул, Турция), которые водили в вагину каждой овце на 14 суток. При извлечении спонжа каждой овце для стимуляции эструса и овуляции вводили внутримышечно PMSG (Pregnant mare serum gonadotropin гонадотропин СЖК) в дозе 10 МЕ/кг, дополнительно перорально овцы получали капсулированную витаминно-минеральную добавку (Малахова Л. С. и др., 2003 г.). Данные исследования получили высокий результат, средняя по опыту частота зачатия равнялась 71,4 %. При обзоре указанной программы также можно отметить её высокую эффективность, которая складывается из процента проявления эструса у самок опытной группы, который выше, чем в контроле, а также повышен процент многоплодных помётов и коэффициент плодовитости. Какие недостатки можно выделить: необходимость навыков и специальных аппликаторов для введения имплантата прогестерона, возможность раннего выделения имплантата, риск инфицирования места введения имплантата, что снижает эффективность курса. Также высокая стоимость препаратов с прогестероном и дополнительно препаратов, содержащих ГнРГ.

Ряд авторов описывает схемы, основанные на двух фармакологических принципах. Первый заключается в пролонгации лютеиновой фазы полового цикла прогестагенными препаратами, а второй принцип – рассасывание желтого тела полового цикла (с последующим ростом и созреванием фолликулов) с помощью простагландинов [8].

Еще одна схема, которая включает введение смеси прогестерона и эстрадиола и через 36-48 ч тестостерона пропионата, причем введение препаратов осуществляли не ранее чем через 10-12 суток и не позднее 28-32 суток от начала случного сезона, а осеменение проводили в следующую за индуцированной естественную охоту. Применение такой схемы, позволило повысить процент оплодотворяемости до 90,5-95,0 % (Ланкин В. С., 1990 г.).

Преимуществом данной схемы можно отметить, что она позволяет повысить эффективность регуляции воспроизводства у овец за счет сокращения периода гормональной обработки для индукции половой охоты.

К недостатком данной схемы можно отнести то, что введение эстрогена может вызвать неконтролируемый выброс лютеинизирующего гормона (ЛГ), который может привести к гормональному дисбалансу. Увеличение риска многоплодия, особенно при использовании высоких доз эстрогена, также является недостатком данной схемы. Еще одним минусом является необходимость точно соблюдать интервал между введением эстрогена и ГнРГ для достижения максимальной эффективности.

Другим распространенным методом синхронизации является метод использования простагландина F2 или его синтетических аналогов (Малахова Л. С. и др., 2003 г.).

В проведенных исследованиях доказано, что синхронизация охоты овец однократной инъекцией простагландина F2-альфа в дозе 0,125 мг вызывает охоту и овуляцию у 90,0-96,0 % поголовья через 48-52 часа (Аузбаев С. А., 2017 г.).

Известны схемы, в которых применяют гонадотропин сыворотки крови жеребых кобыл, прогестерон и ГнРГ. Разработанные схемы стимуляции половой охоты у овцематок западносибирской мясной породы позволяют получать три окота в 2 года и обеспечивать получение дополнительной прибыли на одну обработанную овцематку 1 675,77 руб., что составляет 38 %, а также повышение делового выхода ягнят в среднем на 30,5 % [9].

В результате приведенных примеров применения программ синхронизации половой охоты у овец можно уверенно сказать, что они являются важным инструментом в современном овцеводстве, позволяющим повысить эффективность воспроизводства стада. На основе обзора различных схем синхронизации, включающих применение гормональных препаратов (ГнРГ, ПГФ2α, эстрадиола, прогестерона, сыворотки крови жеребых кобыл), определили, что несмотря на дополнительные затраты на препараты, гормональные программы окупаются за счет увеличения выхода ягнят, сокращения интервала между окотами и улучшения управляемости отарой. Так же позволяет планировать окот в удобное для хозяйства время, что облегчает организацию кормления, ухода и ветеринарного обслуживания.

Таблица 2 – Эффективность применения гормон-программы у овец при искусственном осеменении
Table 2 – Effectiveness of the hormone program in sheep during artificial insemination

Показатели / Indicators	Опытная группа / Experimental group	Контрольная группа / Control group
Количество самок, голов / Number of females	30	30
Количество самок с клинически выраженной половой охотой, голов / Number of females with clinically pronounced sexual heat	27	23
Процент самок, пришедших в половую охоту / Percentage of females who came into heat	90,0 %	76,66 %
Количество суягных животных, голов / Number of pregnant animals	25	21
Процент оплодотворения от первого осеменения / Percentage of fertilization from the first insemination	83,33 %	70,0 %
Количество рожденных ягнят, голов/Процент выхода ягнят на группу / Number of lambs born, heads/Percentage of lambs per group	33/132 %	27/128,6 %
Процент сохранности ягнят по группе / Percentage of safety of lambs by group	93,93	88,88

В результате изучения применяемых схем гормональной стимуляции половой активности самок, мы остановились на выборе программы синхронизации с использованием простагландин F2 α и гонадотропин-рилизинг-гормона. С целью эксперимента увеличили кратность введения препарата, содержащий простагландин, и схема отличается тем, что ГнРГ вводили через 48 часов после двухдневного применения ПГФ2. А также рассмотрели возможность включить в схему витаминные препараты и для стимуляции матки препарат Утеротон на сокращение миометрия (Перерядкина С. П., 2023 г.).

Согласно данным таблицы 2, клинически выраженная половая охота была у 27 голов овец в опытной группе, что составило 90 % от общего числа самок в группе. Отмечали увеличение наружных половых органов, слизистая влагалища отечна, гиперемирована, канал шейки матки приоткрыт и из него истекает тягучая слизь в просвет влагалища. В контрольной группе явно выраженные признаки периода эструса проявились у самок на 13,34 % меньше, чем в опытной группе самок.

На 30-й день после осеменения с целью диагностики количества суягных овцематок в двух группах провели ультразвуковое исследование, при котором обращали внимание на наличие плодных пузырей в виде анэхогенных округлых структур диаметром 5-10 мм, визуализацию эмбрионов в виде небольших гиперэхогенных образований. У самок с сомнительными показателями суягности, повторно провели УЗИ на 40-ой день для определения четкой визуализации эмбриона и наличие сердцебиения. В результате исследования установили, что в опытной группе количество суягных самок было 25 голов, в контрольной группе 21 голов. При расчёте процента оплодотворения от первого осеменения определили, что в опытной группе он составил 83,33 %, что на 13,33 % выше, чем в контрольной группе самок. При сравнении количества рожденных ягнят на количество овцематок в группе, отметили, что показатель выше в опытной группе самок на 3,4 %, так же процент сохранности новорожденных ягнят был больше на 5,05 %.

Также в своем исследовании провели сравнение по количеству приплода от самок с индуцированной охотой и от самок с естественным физиологическим половым циклом. Количество маток, обработанных гормональными препаратами в нашем исследовании 60 голов, количество суягных составило 46 голов они составили опытную группу и в контрольную отобрали 46 голов суягных самок осеменение которых проходило при естественной половой охоте. В результате получили следующие показатели: в опытной группе показатель выхода ягнят был – 130,4 % (60 новорожденных ягнят на 46 голов самок), в контрольной группе – 119,6 % (55 рожденных ягнят на 46 голов самок). Таким образом, стимуляция половой охоты у самок с помощью схем применения гормональных препаратов позволило повысить процент выхода ягнят на 10,8 % по сравнению с принятой в хозяйстве организацией случной кампании.

Заключение. В результате проведенного исследования, можно отметить, что одним из основных направлений развития овцеводства является интенсификация производства, которое на сегодняшний момент невозможно без внедрения программ синхронизации половой охоты, искусственного осеменения. Поэтому вопросы организации и проведения воспроизводства мелкого рогатого скота актуальны, что доказывает широкая география исследователей, как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.

В результате применения в опытной схеме гормональных, витаминных и маточных препаратов в их дозировке получили рабочую программу синхронизации половой охоты у овец. Также можно отметить, что экспериментальное увеличение кратности введения ПГФ2 α (Эстрофантин), направленное на лютеолиз (разрушение желтого тела в яичнике) и введение через 48 часов ГнРГ (Лецирелин) для стимуляции гипофиза на выработку гонадотропных гормонов, которые в свою очередь активируют рост, созревание фолликулов и овуляцию. Так же включение витаминных препаратов в схему, которые направлены на улучшение общего состояния животных и повышения репродуктивной функции, а использование препарата **Утеротона** на стимуляцию сократительной активности матки, которая способствует транспорту спермы и повышению вероятности оплодотворения, способствовало повышению процента оплодотворения от первого осеменения овцематок более чем на 13 %.

Показатель выход приплода у самок опытной группы был выше на 3,4 % по отношению к контрольной. При определении показателя выхода ягнят установили, что он выше на 10,8 % в экспериментальных группах самок с индуцированной половой охотой в сравнении с группой самок, которым не применяли гормональных препаратов. Также стоит отметить, что показатель сохранности ягнят в опытной группе был выше на 5,05 % по отношению к контрольной, что не исключает положительного эффекта при применении витаминных препаратов.

Conclusions. As a result of the conducted research, it can be noted that one of the main directions of sheep breeding development is the intensification of production, which is currently not possible without the introduction of synchronization programs for sexual hunting and artificial insemination. Therefore, the issues of organizing and conducting reproduction of small cattle are relevant, which is proved by the wide geography of researchers, both in the territories of the Russian Federation and abroad.

As a result of the use of hormonal, vitamin and uterine preparations in their dosage in the experimental scheme, a working program for synchronizing sexual hunting in sheep was obtained. It can also be noted that an experimental increase in the frequency of administration of PGF2a (Estrophanthin), aimed at luteolysis (destruction of the corpus luteum in the ovary) and the introduction of GnRH (Lecireline) after 48 hours to stimulate the pituitary gland to produce gonadotropins, which in turn activate the growth, maturation of follicles and ovulation. Also, the inclusion of vitamin preparations in the scheme, which are aimed at improving the general condition of animals and increasing reproductive function, and the use of the drug Uterotone to stimulate contractile activity of the uterus, which promotes sperm transport and increases the likelihood of fertilization, contributed to an increase in the percentage of fertilization from the first insemination of ewes by more than 13 %.

The rate of offspring yield in the females of the experimental group was 3.4 % higher than in the control group. And when determining the yield of lambs in experimental groups of females with induced sexual hunting, compared with the group of females who did not receive hormonal drugs, it was higher by 10.8 %. It is also worth noting that the safety rate of lambs in the experimental group was higher by 5.05 % compared to the control group, which does not exclude a positive effect when using vitamin preparations.

Библиографический список

1. Айбазов А. М., Сеитов М. С., Мамонтова Т. В. Перспективная биотехнология воспроизводства овец и коз. Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2014. Т. 1. № 7. С. 3-7.
2. Аузбаев С. А. Синхронизация половых циклов овец при искусственном осеменении. Зоотехния. 2017. № 11. С. 30-32.
3. Ерохин А. С. Современные методы синхронизации эструса у овец. Овцы, козы, шерстяное дело. 2011. № 4. С. 4-8.
4. Христиановский П. И. и др. Методы интенсификации воспроизводства в овцеводстве (обзор). Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (95). С. 259-263.
5. Перерядкина С. П., Солуянова Ю. В., Мишурова М. Н., Денисов А. А. Разработка схемы синхронизации половой охоты у овец. Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий: материалы Национальной научно-практической конференции. Волгоград, 2023. С. 441-445.
6. Малахова Л. С., Ашурбеков К. К., Черкесов Д. Н., Черкесова А. Н. Синхронизация половой охоты у коз различными препаратами простагландина. Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2003. Т. 1. № 1-1. С. 103-105.
7. Зонтурлу А. К., Кацар С., Сенмез М., Йусе А., Кайа С. Синхронизация эструса у овец (*ovis aries*) породы авасси вне сезона размножения при скормливании витамина е и мультиминеральной добавки (Se, Ca, P, Cu, Co). Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 2. С. 331-337.
8. Чекунова Ю. А., Мальцева О. Е. Эффективность применения разработанных схем стимуляции половой охоты у овец. Вестник КрасГАУ. 2021. № 5 (170). С. 122-128.
9. Волков И. В., Хамируев Т. Н., Базарон Б. З., Дашинимаев С. М., Дмитрик И. И., Завгородняя Г. В. Эффективность раннего использования полугрубшерстных ярок агинской породы для воспроизводства стада. Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 4 (13). С. 28-36.
10. Гальченко В. А., Перерядкина С. П., Никитин Г. С., Авдеенко В. С., Лисиченко Г. О. Эффективность синхронизации половой охоты у коров на высокотехнологичном молочном модернизированном предприятии. Международный вестник ветеринарии. 2022. № 4. С. 395-400.
11. Windorski E. J., Windorski E. J., Schauer C. S. Effect of melengestrol acetate and P.G. 600 on fertility in Rambouillet ewes outside the natural breeding season. Theriogenology. 2008. V. 70. Pp. 227-232.
12. Liu S., Masters D., Fergusonand M., Thompson A. Vitamin E status and reproduction in sheep: potential implications for Australian sheep production. Anim. Prod. ci. 2014. No 54 (6). Pp. 694-714.

References

1. Aibazov A. M., Seitov M. S., Mamontova T. V. Promising biotechnology of sheep and goat reproduction. Collection of scientific works of the Stavropol Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production. 2014. V. 1. № 7. Pp. 3-7.
2. Auzbaev S. A. Synchronization of Sheep Sexual Cycles in Artificial Insemination. Animal Science. 2017. № 11. Pp. 30-32.
3. Erokhin A. S. Modern Methods of Estrus Synchronization in Sheep. Sheep, goats, woollen making. 2011. № 4. Pp. 4-8.
4. Khristianovsky P. I. et al. Methods of Intensification of Reproduction in Sheep Breeding (Review). Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2022. № 3 (95). Pp. 259-263.
5. Pereryadkina S. P., Soluyanov Y. V., Mishurova M. N., Denisov A. A. Development of a scheme for synchronizing heat in sheep. Scientific substantiation of the strategy of digital development of the agro-industrial complex and rural areas: materials of the National Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2023. Pp. 441-445.

6. Malakhova L. S., Ashurbegov K. K., Cherkesov D. N., Cherkesova A. N. Synchronization of Sexual Heat in Goats with Various Prostaglandin Preparations. Collection of scientific works of the Stavropol Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production. 2003. V. 1. № 1-1. Pp. 103-105.
7. Zonturlu A. K., Katsar S., Senmez M., Youse A., Kaya S. Estrus synchronization in sheep (ovis aries) of the Avassi breed outside the breeding season when fed vitamin E and multimineral supplementation (Se, Ca, P, Cu, Co). Agricultural biology. 2017. V. 52. № 2. Pp. 331-337.
8. Chekunkova Y. A., Maltseva O. E. Effectiveness of the developed schemes for stimulating heat in sheep. Vestnik KrasGAU. 2021. № 5 (170). Pp. 122-128.
9. Volkov I. V., Khamiruev T. N., Bazarov B. Z., Dashinimaev S. M., Dmitrik I. I., Zavgorodnyaya G. V. Efficiency of Early Use of Semi-Coarse-Haired Yarok of the Aginsky Breed for Herd Reproduction. Agricultural Journal. 2020. № 4 (13). Pp. 28-36.
10. Galchenko V. A., Pereryadkina S. P., Nikitin G. S., Avdeenko V. S., Lisichenko G. O. Efficiency of Synchronization of Heat in Cows at a High-Tech Dairy Modernized Enterprise. International Veterinary Bulletin. 2022. № 4. Pp. 395-400.
11. Windorski E. J., Windorski E. J., Schauer C. S. Effect of melengestrol acetate and P.G. 600 on fertility in Rambouillet ewes outside the natural breeding season. Theriogenology. 2008. V. 70. Pp. 227-232.
12. Liu S., Masters D., Ferguson M., Thompson A. Vitamin E status and reproduction in sheep: potential implications for Australian sheep production. Anim. Prod. ci. 2014. No 54 (6). Pp. 694-714.

Информация об авторах

Солуянова Юлия Владимировна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: fantaziya007@mail.ru

Перерядкина Светлана Петровна, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: pereryadkina.svetlana@mail.ru

Ушаков Максим Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: volgau-ushakov@yandex.ru

Гаранин Максим Викторович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: maks05072001@mail.ru

Authors' Information

Soluyanov Yulia Vladimirovna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: fantaziya007@mail.ru

Pereryadkina Svetlana Petrovna, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: pereryadkina.svetlana@mail.ru

Ushakov Maksim Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: volgau-ushakov@yandex.ru

Garanin Maksim Viktorovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: maks05072001@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-45

THE PREVENTION OF THE SOWS AFTER FARROWING GYNECOLOGICAL DISEASES IN THE CONDITIONS OF THE MODERN PIG BREEDING COMPLEX**Yudina K. S.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kristina.yudina.92@internet.ru

Received 12.04.2025

Submitted 14.05.2025

Abstract

Introduction. Currently, modern high-yielding sows are very susceptible to industrial diseases, especially to metabolic disorders and systemic inflammation in the postpartum period, which leads to changes in feed intake and endocrine homeostasis, negatively affecting the reproductive function and productivity. Therefore, for economic and social reasons, timely and effective improvement of health and prevention of postpartum gynecological diseases are of paramount importance. **Object.** 2nd cycle Large White sows weighing 200-250 kg in the amount of 40 heads. **Materials and methods.** To determine the efficiency of complex prevention of postpartum gynecological diseases in sows, two groups of 20 heads each were formed. The control group of sows did not undergo any treatment and served as a control. In the experimental group, the sows were prescribed a complex of drugs: Sedemin and Tetravit. The drug Sedemin was administered intramuscularly in the neck area at a dose of 8 ml twice – on the 35th and 95th days of gestation, and Tetravit was injected at a dose of 5 ml on the 85th day. After farrowing, the sows from the second group were immediately administered Amoxicillin LA 15 % intramuscularly in the neck area at a dose of 30 ml. The injection was repeated after 48 hours. Also, for three days in a row after farrowing, the drugs Ketoprofen at a dose of 15 ml and Oxytocin at a dose of 3 ml were used. **Results and conclusions.** As a result of cytological examination of smears from the vagina and mammary gland, it was revealed that only 5 % of the sows in the experimental group had non-specific neutrophilic inflammation in the mammary gland, in contrast to the control group, where 20 % of animals had non-specific neutrophilic inflammation in the vagina and another 25 % in the mammary gland. It was established that the sows in the experimental group did not have signs of anemia, while the control group demonstrated significant deviations from the norm. In particular,

the sows of this group showed a significant decrease in the hemoglobin level to 87.2 ± 0.5 g / l and the average concentration of hemoglobin in the erythrocyte to 271.2 ± 0.3 g / l. Thus, the results of the study show a clear advantage of a comprehensive approach to prevention, including both postpartum therapy with Amoxicillin LA 15 %, Ketoprofen and Oxytocin, and prevention of microelement deficiency during pregnancy with Sedemin and Tetravit. This approach made it possible to significantly reduce the incidence of postpartum gynecological diseases and improve the overall health of sows, which will undoubtedly have a positive effect on their productivity and the economic efficiency of pig farming.

Keywords: sows, sow diseases, gynecological diseases of sows, prevention of gynecological diseases of sows, postpartum therapy of pigs.

Citation. Yudina K. S. The prevention of the sows after farrowing gynecological diseases in the conditions of the modern pig breeding complex. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 401-410 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-45.

Authors' contribution. The author made a significant contribution to the conduct of the study and the analysis of the data obtained. He reviewed the final version of the study and expressed his approval.

Conflict of interest. There are no conflicts of interest between the authors.

УДК 619:618.7:636.4

ПРОФИЛАКТИКА ГИНЕКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У СВИНОМАТОК ПОСЛЕ ОПОРОСА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Юдина К. С., аспирант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В настоящее время современные свиноматки с высокой продуктивностью очень восприимчивы к производственным заболеваниям, особенно к нарушениям обмена веществ и системным воспалениям в послеродовой период, что приводит к изменениям в потреблении корма и эндокринном гомеостазе, негативно влияя на репродуктивную функцию и производительность. Следовательно, по экономическим и социальным причинам своевременное и эффективное улучшение состояния здоровья и профилактика послеродовых гинекологических заболеваний имеют первостепенное значение. **Объект.** Свиноматки крупной белой породы 2-го цикла, весом 200-250 кг в количестве 40 голов. **Материалы и методы.** Для определения эффективности комплексной профилактики послеродовых гинекологических заболеваний у свиноматок было сформировано две группы по 20 голов в каждой. Контрольная группа свиноматок не подвергалась никакому лечению и служила контрольной. В опытной группе свиноматкам назначили комплекс препаратов: Седемин и Тетравит. Препарат Седемин вводился внутримышечно в область шеи в дозе 8 мл дважды – в 35-й и 95-й дни супоросности, а Тетравит инъецировали в дозе 5 мл на 85-й день. После опороса свиноматкам из второй группы сразу же внутримышечно в область шеи вводили Амоксицилин LA 15 % в дозе 30 мл. Через 48 часов инъекцию повторяли. Также в течение трех дней подряд после опороса использовали препараты Кетопробаг в дозе 15 мл и Окситоцин в дозе 3 мл. **Результаты и выводы.** В результате цитологического исследования мазков из влагалища и молочной железы выявили, что у свиноматок опытной группы лишь у 5 % свиней было обнаружено неспецифическое нейтрофильное воспаление в молочной железе, в отличие от контрольной группы, где у 20 % животных наблюдалось неспецифическое нейтрофильное воспаление во влагалище и ещё 25 % – в молочной железе. Установлено, что у свиноматок опытной группы не было признаков анемии, в то время как контрольная группа продемонстрировала существенные отклонения от нормы. В частности, у свиноматок этой группы наблюдалось значительное снижение уровня гемоглобина до $87,2 \pm 0,5$ г/л и средней концентрации гемоглобина в эритроците до $271,2 \pm 0,3$ г/л. Таким образом, результаты исследования показывают явное преимущество комплексного подхода к профилактике, включающего как послеродовую терапию препаратами Амоксицилина LA 15 %, Кетопрофена и Окситоцина, так и профилактику дефицита микроэлементов во время супоросности с помощью Седемина и Тетравита. Такой подход позволил значительно снизить частоту послеродовых гинекологических заболеваний и улучшить общее состояние здоровья свиноматок, что, несомненно, положительно скажется на их продуктивности и экономической эффективности свиноводства.

Ключевые слова: свиноматки, болезни свиноматок, гинекологические болезни свиноматок, профилактика гинекологических болезней свиноматок, послеродовая терапия свиней.

Цитирование. Юдина К. С. Профилактика гинекологических заболеваний у свиноматок после опороса в условиях современного свиноводческого комплекса. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 401-410. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-45.

Авторский вклад. Автор внес значительный вклад в проведение исследования и анализ полученных данных. Он ознакомился с окончательным вариантом исследования и выразил свое одобрение.

Конфликт интересов. Не существует противоречий между интересами авторов.

Введение. Генетическая селекция и оптимизация условий содержания за последние три десятилетия привели к значительному улучшению репродуктивных показателей свиноматок, с увеличением количества поросят в год с 20 до 30, и потенциалом для дальнейшего роста [1]. Однако увеличение размера опороса коррелирует с увеличением продолжительности опороса, что оказывает негативное влияние на здоровье свиноматок. Хотя физиологический процесс опороса инициирует воспалительную реакцию, необходимую для очистки матки, у высокопродуктивных свиноматок наблюдается чрезмерное удлинение продолжительности опороса [2, 3]. Это приводит к увеличению частоты послеродовых осложнений, в частности эндометрита, что, в свою очередь, негативно сказывается на последующих репродуктивных циклах и общей продуктивности свиноматок [4, 5]. Послеродовые заболевания представляют собой значительное препятствие для дальнейшего увеличения производства свинины, приводя к снижению продуктивности, преждевременной выбраковке ценного генетического материала и, как следствие, экономическим потерям [6].

Таким образом, поддержание оптимального здоровья свиноматок в послеродовой период является критически важным фактором обеспечения высокой репродуктивной функции стада, благополучия животных и экономической устойчивости свиноводческого предприятия [7, 8].

Следует отметить, что одной из самых серьезных проблем, с которыми сталкивается свиноводство, является сохранение высокопродуктивных и здоровых свиноматок, способных выкармливать большие здоровые помёты и сохранять хорошую репродуктивную функцию в течение как можно большего количества производственных циклов [11, 12]. К сожалению, современные свиноматки с высокой продуктивностью очень восприимчивы к производственным заболеваниям, особенно к нарушениям обмена веществ и системным воспалениям в послеродовой период, что приводит к изменениям в потреблении корма и эндокринном гомеостазе, негативно влияя на репродуктивную функцию и производительность [9, 10]. Следовательно, по экономическим и социальным причинам своевременное и эффективное улучшение состояния здоровья и диагностика производственных заболеваний, особенно синдрома профессионального выгорания, имеют первостепенное значение.

Таким образом, экспериментальное исследование проводилось с целью изучения влияния различных препаратов на здоровье свиноматок в период супоросности и после опороса, что позволит повысить продуктивность и здоровье свиноводческого поголовья в будущем.

Материалы и методы исследования. Экспериментальные исследования были проведены на свиноводческом комплексе, который принадлежит ООО ТопАгро и расположен в Волгоградской области, в Городищенском районе, а именно в посёлке Самофаловка.

Для осуществления данного исследования было сформировано две группы свиноматок 2-го цикла, каждая из которых состояла из 20 голов. Все свиноматки были крупной белой породы и имели вес в диапазоне от 200 до 250 килограммов.

Контрольная группа свиноматок не подвергалась никакому лечению и служила контрольной, что позволяло сравнивать результаты с экспериментальной группой.

В опытной группе, в отличие от первой, свиноматкам назначили комплекс препаратов, которые были специально подобраны для активного влияния на биохимические процессы, протекающие в их организме во время супоросности. В состав этого комплекса вошли два препарата: Седемин и Тетравит. Препарат Седемин вводился внутримышечно в область шеи свиноматок в дозе 8 мл дважды – в 35-й и 95 й дни супоросности. Это было сделано с целью восполнения дефицита таких важных микроэлементов, как железо, йод и селен, которые необходимы для нормального функционирования организма самок в этот период. Кроме того, на 85-й день супоросности свиноматкам второй группы вводился Тетравит, который представляет собой комплекс витаминов А, D, Е и F. Дозировка составила 5 мл, и препарат также вводился внутримышечно в область шеи. Это способствовало улучшению общего состояния свиноматок и поддержанию их здоровья в период беременности.

После опороса свиноматкам из второй группы сразу же внутримышечно в область трапецевидной мышцы шеи вводили Амоксицилин LA 15 % в дозе 30 мл на каждую голову. Этот антибиотик был назначен для профилактики инфекционных заболеваний, которые могут возникнуть после родов. Через 48 часов после первой инъекции повторяли введение Амоксицилина, что позволяло поддерживать необходимую концентрацию препарата в организме свиноматок. Также в течение трех дней подряд после опороса использовали препарат Кетопробаг в дозе 15 мл, который также вводился внутримышечно в область шеи. Этот препарат помогает

уменьшить воспалительные процессы и поддерживает здоровье свиноматок в послеродовом периоде. В дополнение в течение трех дней подряд применяли Окситоцин в дозе 10 МЕ, который вводился в область вульвы в дозе 3 мл. Окситоцин способствует улучшению сокращений матки и помогает в процессе восстановления после родов.

Для оценки эффективности профилактической программы послеродовых осложнений у свиноматок после опороса обеим группам животных был проведен комплексный диагностический анализ. В рамках исследования у каждой свиноматки брали кровь по 3 мл из яремной вены в фиолетовые вакуумные пробирки с КЗЭДТА для общего анализа сразу после опороса и на 10 день после опороса, также в этот день собирали мочу в стерильные контейнеры для биопроб для общего анализа мочи. Для цитологического исследования мазков из влагалища и молочной железы на 10 день после опороса брали образцы влагалищных смывов в специальную пробирку со средой Эймса, а пробы молозива и молока набирали в стерильные пробирки, предварительно обработав молочную железу сначала теплой водой, затем 70 % этиловым спиртом. Все собранные образцы – кровь, моча, мазки, были отправлены в ветеринарную лабораторию ООО «Лабвет Регион» для исследования.

Результаты и обсуждение. В результате общего клинического исследования образцов сыворотки крови у свиноматок обеих групп сразу после опороса получили следующие данные, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Общий клинический анализ крови свиноматок опытных групп после опороса

Table 1 – General clinical blood analysis of sows of experimental groups after farrowing

Показатели / Indicators	Референсные значения / Reference values	Результаты / Outcomes	
		Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group
Лейкоциты, тыс/мкл / Leukocytes, thousand/ μ l	11,0-22,0	21,6 $\pm$ 0,18	17,8 $\pm$ 0,15
Количество ядерных эритроцитов/100 лейкоцитов, % / Number of nuclear erythrocytes/100 leukocytes, %	0-3	0	0
Скорректированное количество Лейкоцитов, $\times 10^9$ /л / Adjusted Leukocyte count, $\times 10^9$ /l	11,00-22,00	21,60 $\pm$ 0,18	17,80 $\pm$ 0,15
Эритроциты, млн/мкл / Erythrocytes, million/ μ l	5,00-8,00	4,66 $\pm$ 0,09*	6,82 $\pm$ 0,12
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	100-160	87,2 $\pm$ 0,5	112,3 $\pm$ 0,6
Гематокрит, % / Hematocrit, %	36,0-43,0	34,8 $\pm$ 0,06	39,2 $\pm$ 0,12*
Средний объем эритроцита, μ м ³ (фл) / Average erythrocyte volume, μ m ³ (fl)	50,00-68,00	67,19 $\pm$ 0,24	65,18 $\pm$ 0,23
Среднее содержание НЬ в эритроците, Пг / Average content of NG in an erythrocyte, Pg	17,00-21,00	18,48 $\pm$ 0,14	18,91 $\pm$ 0,15
Средняя концентрация НЬ в эритроците, г/л / Average concentration of NH in an erythrocyte, g/l	300-340	271,2 $\pm$ 0,3	324,4 $\pm$ 0,7
Показатель анизоцитоза эритроцитов, % / Erythrocyte anisocytosis index, %	0,00-100,00	12,50 $\pm$ 0,13*	13,13 $\pm$ 0,13
Тромбоциты, тыс/мкл / Platelets, thousand/ μ l	200-500	346,2 $\pm$ 0,4	438,2 $\pm$ 0,5
Нейтрофильные миелоциты, % / Neutrophil myelocytes, %	0	0	0
Нейтрофильные метамиелоциты, % / Neutrophil metamyelocytes, %	0	0	0
Палочкоядерные нейтрофилы, % / Band neutrophils, %	0-4	0	0
Сегментоядерные нейтрофилы, % / Segmented neutrophils, %	28-47	51,2 $\pm$ 0,7	49,9 $\pm$ 0,9
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	0-11	5,2 $\pm$ 0,5	8,1 $\pm$ 0,2**
Моноциты, % / Monocytes, %	2-10	7,3 $\pm$ 0,7	7,4 $\pm$ 0,5
Базофилы, % / Basophils, %	0-2	0	0
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	39-62	34,6 $\pm$ 0,5	36,5 $\pm$ 0,9

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Note: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Анализ гематологических показателей свиноматок, представленный в таблице 1, выявил существенные различия между двумя группами. Опытная группа демонстрирует показатели, находящиеся в пределах референтных значений, что указывает на нормальное функционирование системы кроветворения. Напротив, контрольная группа демонстрирует тревожные отклонения от нормы. Наблюдается статистически значимое снижение ключевых показателей, свидетельствующее о возможной анемии.

В частности, концентрация эритроцитов в периферической крови свиноматок первой опытной группы составила $4,66 \pm 0,09$ млн/мкл, что, хотя и не является критическим падением, все же отклоняется от установленной нормы. Еще более значительным является снижение уровня гемоглобина до $87,2 \pm 0,5$ г/л, что представляет собой уменьшение примерно на 13 % по сравнению с нормативными показателями. Параллельно с этим наблюдается снижение средней концентрации гемоглобина в эритроците до $271,2 \pm 0,3$ г/л, что указывает на микроцитарную гипохромную анемию и составляет отклонение от нормы приблизительно на 9 %. Все эти данные однозначно указывают на дефицит железа в организме свиноматок первой опытной группы.

Опытная группа, в свою очередь, таких отклонений не демонстрирует, что свидетельствует о благоприятном влиянии используемых препаратов. Важно отметить, что применение препаратов Седемин и Тетравит, судя по результатам исследования, эффективно компенсирует дефицит таких микроэлементов, как железо, йод и селен. Эти элементы играют критически важную роль в процессах кроветворения, иммунитета и общего метаболизма организма. Их недостаток приводит к серьезным нарушениям в работе организма, и именно это, по всей видимости, и наблюдается в первой группе.

Таблица 2 – Общий клинический анализ крови свиноматок опытных групп на 10-й день после опороса
Table 2 – General clinical blood test of sows of experimental groups on the 10th day after farrowing

Показатели / Indicators	Референсные значения / Reference values	Результаты / Outcomes	
		Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group
Лейкоциты, тыс/мкл / Leukocytes, thousand/ μ l	11,0-22,0	24,6 $\pm$ 0,17	16,5 $\pm$ 0,14
Количество ядерных эритроцитов/100 лейкоцитов, % / Number of nuclear erythrocytes/100 leukocytes, %	0-3	0	0
Скорректированное количество лейкоцитов, $\times 10^9$ /л / Adjusted Leukocyte count, $\times 10^9$ /l	11,00-22,00	24,60 $\pm$ 0,17	16,50 $\pm$ 0,14
Эритроциты, млн/мкл / Erythrocytes, million/ μ l	5,00-8,00	4,21 $\pm$ 0,04*	7,18 $\pm$ 0,13
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	100-160	86,3 $\pm$ 0,6	115,5 $\pm$ 0,8
Гематокрит, % / Hematocrit, %	36,0-43,0	36,2 $\pm$ 0,04	41,3 $\pm$ 0,11*
Средний объем эритроцита, мкм ³ (фл) / Average erythrocyte volume, μ m ³ (fl)	50,00-68,00	63,19 $\pm$ 0,21	64,21 $\pm$ 0,25
Среднее содержание НЬ в эритроците, Пг / Average content of NG in an erythrocyte, Pg	17,00-21,00	18,54 $\pm$ 0,13	19,43 $\pm$ 0,16
Средняя концентрация НЬ в эритроците, г/л / Average concentration of NH in an erythrocyte, g/l	300-340	273,4 $\pm$ 0,3	328,8 $\pm$ 0,6
Показатель анизоцитоза эритроцитов, % / Erythrocyte anisocytosis index, %	0,00-100,00	12,50 $\pm$ 0,13*	13,13 $\pm$ 0,13
Тромбоциты, тыс/мкл / Platelets, thousand/ μ l	200-500	344,2 $\pm$ 0,3	438,8 $\pm$ 0,6
Нейтрофильные миелоциты, % / Neutrophil myelocytes, %	0	0	0
Нейтрофильные метамиелоциты, % / Neutrophil metamyelocytes, %	0	0	0
Палочкоядерные нейтрофилы, % / Band neutrophils, %	0-4	0	0
Сегментоядерные нейтрофилы, % / Segmented neutrophils, %	28-47	72,6 $\pm$ 0,6	35,8 $\pm$ 0,7
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	0-11	5,5 $\pm$ 0,3	8,6 $\pm$ 0,3**
Моноциты, % / Monocytes, %	2-10	7,6 $\pm$ 0,3	7,5 $\pm$ 0,7
Базофилы, % / Basophils, %	0-2	0	0
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	39-62	17,3 $\pm$ 0,5	39,5 $\pm$ 0,8

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Note: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Также в обеих группах у свиноматок после опороса наблюдаются изменения в составе лейкоцитов в плазме крови. Из данных таблицы 1 видим небольшое повышение уровня сегментоядерных нейтрофилов и одновременное снижение количества лимфоцитов. Эти изменения в соотношении нейтрофилов и лимфоцитов указывают на начало воспалительного процесса в организме свиноматок после родов. Таким образом, результаты анализа указывают на активацию воспалительной реакции, что является естественным процессом в послеродовом периоде, но степень и длительность воспаления требуют дальнейшего наблюдения.

Детальный анализ данных, представленных в таблице 2, позволяет сделать вывод о существенном различии в состоянии здоровья свиноматок контрольной и опытной групп через десять суток после опороса. В контрольной группе, где не применялись никакие препараты, наблюдалось значительное усиление воспалительного процесса в организме свиноматок. Это подтверждается явными изменениями в лейкоцитарной формуле крови. В частности, заметно увеличилось процентное содержание сегментоядерных нейтрофилов, достигнув значения $72,6 \pm 0,6 \%$, что свидетельствует об активной реакции нейтрофильной системы иммунитета на воспалительный процесс. Эта активная реакция направлена на борьбу с инфекцией, что, в свою очередь, подтверждается одновременным снижением количества лимфоцитов до $17,3 \pm 0,5 \%$.

Таким образом, сочетание значительного повышения количества сегментоядерных нейтрофилов и одновременного снижения количества лимфоцитов является показателем наличия выраженного воспалительного процесса в организме свиноматок контрольной группы. В опытной группе, где использовались препараты Окситоцин, Амоксицилин LA 15 % и Кето-пробаг, подобных значительных изменений в лейкоцитарной формуле не наблюдалось, что указывает на эффективность примененной терапии в предотвращении или снижении интенсивности воспалительного процесса.

В результате общего анализа мочи получили следующие данные, которые приведены в таблицах 2 и 3. Из этих данных таблицы 2 видно, что в обеих группах в моче отсутствуют кетоновые тела и уробилиноген. Нормальная кислотность мочи у свиней составляет 6,0-7,0 pH. В первой экспериментальной группе кислотность мочи была снижена до 5,0 pH, в то время как во второй группе она оставалась в пределах нормы (6,0-7,0 pH). Относительная плотность мочи в обеих группах находилась в пределах референсных значений ($1,015-1,045 \text{ г/см}^3$). Таким образом, единственным значимым отличием между группами стало снижение кислотности мочи в первой экспериментальной группе.

Таблица 3 – Физико-химические свойства мочи свиноматок опытных групп на 10 день после опороса
Table 3 – Physical and chemical properties of urine of sows of experimental groups on the 10th day after farrowing

Показатель / Index	Результаты / Outcomes	
	Контрольная группа, n=20 / Control group, n=20	Опытная группа, n=20 / Experimental group, n=20
Кислотность, ед. pH / Acidity, pH unit	5,12±0,07	6,10±0,05
Белок, г/л / Protein, g/l	0,23±0,04	0,15±0,06
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	0	0
Кетоновые тела, ммоль/л / Ketone bodies, mmol/l	0	0
Относительная плотность (SpG), г/см ³ / Relative density (SpG), g/cm ³	1,025±0,02**	1,023±0,01**
Уробилиноген, мкмоль/л / Urobilinogen, μmol/l	0	0
Цвет / Color	светло-желтый / light yellow	светло-желтый / light yellow
Прозрачность / Transparency	Полупрозрачная / Translucent	Прозрачная / Transparent
Билирубин / Bilirubin	Отсутствует / none	Отсутствует / none
Гемоглобин / Hemoglobin	Отсутствует / none	Отсутствует / none

Примечание: **p<0,01.

Note: ** p<0,01.

Анализ мочевого осадка первой группы выявил значительное отклонение от нормы: количество лейкоцитов превысило допустимые значения (более 5 поле зрения), было обнаружено присутствие мочевой кислоты, а в также значительное количество кокковых бак-

терий (++++), что указывает на высокую концентрацию. Напротив, во второй опытной группе все показатели мочевого осадка находились в пределах референсных значений, свидетельствуя об отсутствии воспалительных процессов в мочевыводящих путях (таблица 4).

Таблица 4 – Мочевой осадок у свиноматок опытных групп на 10 день после опороса
Table 4 – Urine sediment in sows of experimental groups on the 10th day after farrowing

Показатель / Index	Результаты	
	Контрольная группа, n=20 / Control group, n=20	Опытная группа, n=20 / Experimental group, n=20
Эритроциты / Erythrocytes	Отсутствует / none	Отсутствует / none
Лейкоциты / Leukocytes	8 проб – более 5-ти в поле зрения 4 пробы 0-5 в поле зрения 8 проб – отсутствует / 8 samples – more than 5 in the field of view 4 samples – 0-5 in the field of view 8 samples – none	6 проб – 0-5 в поле зрения 14 проб – отсутствует / 6 samples – 0-5 in the field of view 14 samples – none
Эпителий / Epithelium	плоский 0-1 в поле зрения / Flat 0-1 in Field of View	плоский 0-1 в поле зрения / Flat 0-1 in Field of View
Цилиндры / Cylinders	-	-
Бактерии / Bacteria	3 пробы – кокки ++++ 2 пробы – кокки ++ 15 проб – отсутствует / 3 samples – cocci ++++ 2 samples – cocci ++ 15 samples – none	4 пробы – палочки ед. 16 проб – отсутствует / 4 samples – sticks unit 16 samples – none
Неорганизованный осадок / Fugitive Sludge	2 пробы – мочевая кислота 18 проб – отсутствует / 2 samples – uric acid, 18 samples – none	Отсутствует / none

В результате цитологического анализа мазков, взятых из влагалища на 10 день после опороса, было установлено, что в опытной группе не было выявлено никаких отклонений от нормальных показателей. В контрольной группе, в отличие от опытной группы, у 20 % свиноматок в мазках наблюдались признаки неспецифического нейтрофильного воспаления (рисунок 1).

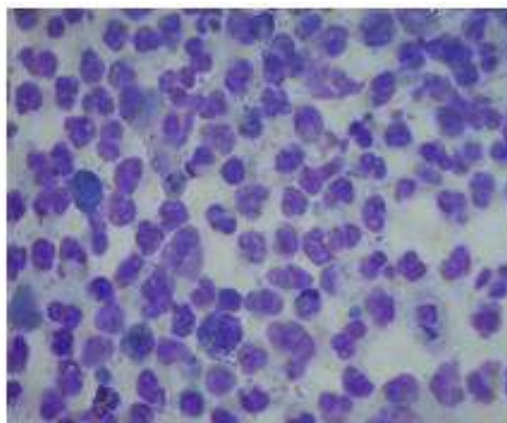


Рисунок 1 – Микроскопический снимок мазка из влагалища свиноматки, общее увеличение 1000
Figure 1 – Microscopic images of smears from the vagina of a sow, total magnification 1000

Согласно микроскопическому изучению мазков из влагалища, изображенных на рисунке 1, было установлено, что на базофильном фоне визуализируются множественные клеточные элементы воспалительной инфильтрации, представленные дегенеративными нейтрофилами 95 % и лимфоцитами 5 % в стадии кариолизиса. Выявляются единичные клетки промежуточного эпителия без признаков атипии. Также выявляются безъядерные эпителиальные клетки. Микрофлора умеренная, представлена кокковидными микроорганизмами. Клеток опухолевой природы не обнаружено.

Более того, цитологическое исследование мазков из молочной железы выявило признаки воспаления у значительной части свиноматок контрольной группы (рисунок 2). В 25 % случаев у свиноматок контрольной группы цитологическая картина указывала на не-

специфическое нейтрофильное воспаление, что характерно для инфекционных процессов. В опытной группе лишь 5 % свиноматок показали подобные признаки, что существенно меньше и подтверждает более благополучное состояние здоровья этих животных.

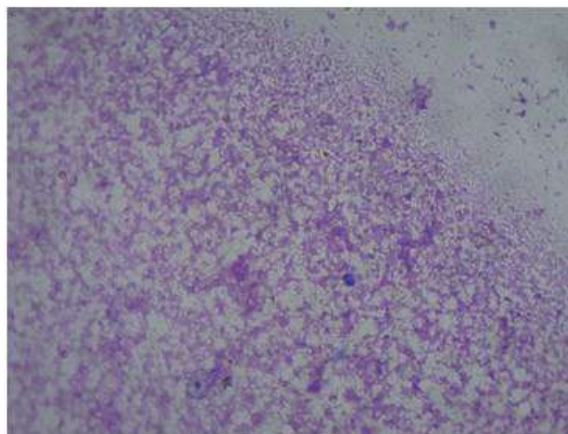


Рисунок 2 – Микроскопический снимок мазка с молочной железы свиноматки, общее увеличение 1000
Figure 2 – Microscopic image of a smear from the mammary gland of a sow, total magnification 1000

Цитологическое исследование образца, представленного на рисунке 2, демонстрирует выраженную воспалительную инфильтрацию, основу которой составляют нейтрофилы в состоянии дегенерации, проходящие кариолизис. Эти нейтрофилы, находящиеся в заключительной стадии своего жизненного цикла, свидетельствуют о значительном, остром воспалительном процессе. Среди них наблюдается умеренное количество свободно расположенных бактерий, что указывает на инфекционный компонент воспаления. Кроме того, в исследуемом образце обнаружено незначительное количество клеток кератинизированного плоского эпителия, что может указывать на вовлечение в процесс кожных покровов. Фон препарата характеризуется базофильным матриксом, содержащим жировые вакуоли и клеточный детрит, что дополнительно подтверждает интенсивность воспаления. Важно отметить отсутствие атипичных клеток, указывающих на злокачественный процесс.

Следует отметить, что в контрольной группе у 9 из 20 свиноматок (45 %) был поставлен диагноз синдром послеродовой дисгалактии (ММА), тогда как у свиноматок опытной группы не было зафиксировано послеродовых гинекологических осложнений, что демонстрирует эффективность примененного способа профилактики послеродовых гинекологических заболеваний.

Заключение. Проведённое исследование демонстрирует эффективность комплексной профилактики послеродовых гинекологических заболеваний свиноматок в опытной группе, где использовали специально подобранные сочетания таких препаратов, как Седемин, Тетравит во время супоросности и Амоксицилин LA 15 %, Кетопрофен, Окситоцин сразу после опороса. Это лечение было направлено на подавление бактериальной инфекции, уменьшение воспаления и стимуляцию сокращения матки, что способствует её быстрому восстановлению после родов, а также на улучшение общего состояния здоровья животных и снижение заболеваемости, о чем свидетельствуют результаты цитологического исследования мазков из влагалища и молочной железы, так у свиноматок второй опытной группы наблюдали значительно более низкий процент развития воспалительных процессов. В частности, лишь у 5 % свиней было обнаружено неспецифическое нейтрофильное воспаление в молочной железе. Это резко контрастирует с контрольной группой, где не применялась такая интенсивная послеродовая профилактика. В контрольной группе у 20 % животных наблюдалось неспецифическое нейтрофильное воспаление во влагалище и ещё 25 % – в молочной железе. Это убедительно демонстрирует эффективность выбранного во второй группе метода профилактики послеродовых осложнений.

Параллельно с послеродовой терапией в опытной группе проводилась профилактика дефицита микроэлементов во время супоросности препаратами Седемин и Тетравит, которые богаты железом, йодом и селеном и играют ключевую роль в процессах кроветворения, иммунной системе и общем метаболизме организма. Недостаток этих элементов может серьезно ослабить иммунитет свиноматок, повысить риск развития различных заболеваний, включая послеродовые осложнения.

Наблюдения показали, что у свиноматок опытной группы не было признаков анемии, в то время как контрольная группа продемонстрировала существенные отклонения от нормы. В частности, у свиноматок этой группы наблюдалось значительное снижение уровня гемоглобина до $87,2 \pm 0,5$ г/л, что на 13 % ниже нормативных показателей. Это свидетельствует о развитии анемии. Кроме того, средняя концентрация гемоглобина в эритроците снизилась до $271,2 \pm 0,3$ г/л, что на 9 % ниже нормы и указывает на гипохромную анемию.

Установлено, что в контрольной группе у 9 из 20 свиноматок (45 %) был поставлен диагноз синдром послеродовой дисгалактии (ММА). Тогда как у свиноматок опытной группы не было зафиксировано послеродовых гинекологических осложнений, что демонстрирует явное преимущество комплексного подхода к профилактике, включающего как послеродовую терапию препаратами Амоксицилина LA 15 %, Кетопрофена и Окситоцина, так и профилактику дефицита микроэлементов во время супоросности с помощью Седемина и Тетравита. Такой подход позволил значительно снизить частоту послеродовых гинекологических заболеваний и улучшить общее состояние здоровья свиноматок, что, несомненно, положительно скажется на их продуктивности и экономической эффективности свиноводства.

Полученные данные позволяют рекомендовать данную методику для широкого применения в практике свиноводства. Важно отметить, что все выводы основаны на сравнении двух групп свиноматок и для подтверждения результатов необходимы более масштабные исследования с большим количеством животных и более длительным периодом наблюдения.

Conclusions. The conducted study demonstrates the effectiveness of complex prevention of postpartum gynecological diseases of sows in the experimental group, where a specially selected combination of such drugs as Sedemin, Tetravit during gestation and Amoxicillin LA 15 %, Ketoprofen, Oxytocin immediately after farrowing was used. This treatment was aimed at suppressing bacterial infection, reducing inflammation and stimulating uterine contractions, which contributes to its rapid recovery after childbirth, as well as improving the overall health of animals and reducing morbidity. As evidenced by the results of cytological examination of smears from the vagina and mammary gland, sows of the second experimental group showed a significantly lower percentage of inflammatory processes. In particular, only 5 % of pigs had nonspecific neutrophilic inflammation in the mammary gland. This is in sharp contrast to the control group, where such intensive postpartum prevention was not used. In the control group, 20 % of animals had non-specific neutrophilic inflammation in the vagina and another 25 % – in the mammary gland. This convincingly demonstrates the effectiveness of the method chosen in the second group for preventing postpartum complications.

In parallel with postpartum therapy, the experimental group was treated with the drugs Sedemin and Tetravit, which are rich in iron, iodine and selenium and play a key role in the processes of hematopoiesis, the immune system and the general metabolism of the body. A deficiency of these elements can seriously weaken the immunity of sows, increase the risk of developing various diseases, including postpartum complications.

Observations showed that the sows of the experimental group did not have signs of anemia, while the control group demonstrated significant deviations from the norm. In particular, the sows of this group showed a significant decrease in hemoglobin levels to 87.2 ± 0.5 g / l, which is 13 % below the standard. This indicates the development of anemia. In addition, the average concentration of hemoglobin in the erythrocyte decreased to 271.2 ± 0.3 g / l, which is 9% below the norm and indicates hypochromic anemia.

It was found that in the control group, 9 out of 20 sows (45 %) were diagnosed with postpartum dysgalactia syndrome (MMA). Whereas the sows of the experimental group had no postpartum gynecological complications, which demonstrates the clear advantage of an integrated approach to prevention, including both postpartum therapy with Amoxicillin LA 15 %, Ketoprofen and Oxytocin, and prevention of micronutrient deficiency during pregnancy using Sedemin and Tetravit. This approach has significantly reduced the incidence of postpartum gynecological diseases and improved the overall health of sows, which will undoubtedly have a positive impact on their productivity and economic efficiency of pig farming. The data obtained allow us to recommend this technique for wide application in pig breeding practice. It is important to note that all conclusions are based on a comparison of two groups of sows, and larger studies with more animals and a longer follow-up period are needed to confirm the results.

Библиографический список

1. Михайлов Н. С. и др. Профилактика болезней послеродового периода свиноматок в сохранении здоровья поросят-сосунков. Ветеринарные науки. 2021. С. 2-3.
2. Коцарев В. Н. и др. К вопросу этиологии, диагностики, профилактики и терапии послеродовых гнойно-воспалительных заболеваний половых органов свиноматок. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 4 (39). С. 225.

3. Филатов, А. В., Сапожников А. Ф. Фармакопрофилактика послеродовых заболеваний у свиноматок. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2014. № 4 (41). С. 39.
4. Юдина К. С., Чижова Г. С., Кочарян В. Д. Эффективность лечебно-профилактических мероприятий при послеродовом эндометрите у свиноматок. *Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию победы в Сталинградской битве*. Волгоград, 2023. С. 226-234.
5. Юдина К. С. Микрофлора свиноматок при послеродовых эндометритах в условиях свиноводческого хозяйства ООО "Афины-Волга". *Наука и молодёжь: новые идеи и решения: материалы XVII Международной научно-практической конференции молодых исследователей*. Волгоград, 2023. С. 321-325.
6. Юдина К. С. и др. Профилактика послеродового синдрома «метрит - мастит - агалактия» у свиноматок. *Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции*. Волгоградский государственный аграрный университет. Волгоград, 2023. С. 136-140.
7. Koketsu Y., Tani S., Iida R. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management*. 2017. No 3. Pp. 1-10.
8. Nam N. H. Risk factors for prolonged postparturient vaginal discharge in sows. *Thai J Vet Med*. 2020. V. 50. Pp. 57-63.
9. Kaiser M., Jacobson M., Andersen P. H., Bækbo P., Cerón J. J., Dahl J., Escribano D., Jacobsen S. Inflammatory markers before and after farrowing in healthy sows and in sows affected with postpartum dysgalactia syndrome. *BMC Veterinary Research*. 2018. No 14 (1). Pp. 1-15.
10. Kaiser M., Jacobsen S., Andersen P. H., Bækbo P., Cerón J. J., Dahl J., Escribano D., Theil P. K., Jacobson M. Hormonal and metabolic indicators before and after farrowing in sows affected with postpartum dysgalactia syndrome. *BMC Veterinary Research*. 2018. No 14 (1). Pp. 1-11.
11. Althouse G. C., Kauffold J., Rossow S. Diseases of the reproductive system. *Diseases of swine*. 2019. Pp. 373-392.
12. Björkman S., Oliviero C., Kauffold J., Soede N. M., Peltoniemi O. A. T. Prolonged parturition and impaired placenta expulsion increase the risk of postpartum metritis and delay uterine involution in sows. *Theriogenology*. 2018. No 106. Pp. 87-92.

References

1. Mikhailov N. S. et al. Prevention of diseases of the postpartum period of sows in maintaining the health of suckling piglets. *Veterinary Sciences*. 2021. Pp. 2-3.
2. Kotsarev V. N. et al. On the issue of etiology, diagnosis, prevention and therapy of postpartum purulent-inflammatory diseases of the genital organs of sows. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2013. № 4 (39). P. 225.
3. Filatov, A. V., Sapozhnikov A. F. Pharmacoprophylaxis of postpartum diseases in sows. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2014. № 4 (41). P. 39.
4. Yudina K. S., Chizhova G. S., Kocharyan V. D. Efficacy of therapeutic and prophylactic measures in postpartum endometritis in sows. *Innovative technologies in the agro-industrial complex in the context of digital transformation: materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the victory in the Battle of Stalingrad*. Volgograd, 2023. Pp. 226-234.
5. Yudina K. S. Microflora of sows in postpartum endometritis in the conditions of pig breeding of Athens-Volga LLC. *Science and Youth: New Ideas and Solutions: Materials of the XVII International Scientific and Practical Conference of Young Researchers*. Volgograd, 2023. Pp. 321-325.
6. Yudina K. S. et al. Prevention of postpartum syndrome "metritis - mastitis - agalactia" in sows. *Innovative technologies in the agro-industrial complex in the context of digital transformation: materials of the International Scientific and Practical Conference*. Volgograd State Agrarian University. Volgograd, 2023. Pp. 136-140.
7. Koketsu Y., Tani S., Iida R. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management*. 2017. No 3. Pp. 1-10.
8. Nam N. H. Risk factors for prolonged postparturient vaginal discharge in sows. *Thai J Vet Med*. 2020. V. 50. Pp. 57-63.
9. Kaiser M., Jacobson M., Andersen P. H., Bækbo P., Cerón J. J., Dahl J., Escribano D., Jacobsen S. Inflammatory markers before and after farrowing in healthy sows and in sows affected with postpartum dysgalactia syndrome. *BMC Veterinary Research*. 2018. No 14 (1). Pp. 1-15.
10. Kaiser M., Jacobsen S., Andersen P. H., Bækbo P., Cerón J. J., Dahl J., Escribano D., Theil P. K., Jacobson M. Hormonal and metabolic indicators before and after farrowing in sows affected with postpartum dysgalactia syndrome. *BMC Veterinary Research*. 2018. No 14 (1). Pp. 1-11.
11. Althouse G. C., Kauffold J., Rossow S. Diseases of the reproductive system. *Diseases of swine*. 2019. Pp. 373-392.
12. Björkman S., Oliviero C., Kauffold J., Soede N. M., Peltoniemi O. A. T. Prolonged parturition and impaired placenta expulsion increase the risk of postpartum metritis and delay uterine involution in sows. *Theriogenology*. 2018. No 106. Pp. 87-92.

Информация об авторах

Юдина Кристина Сергеевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: kristina.yudina.92@internet.ru

Author's Information

Yudina Kristina Sergeevna, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kristina.yudina.92@internet.ru

THE DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE RECIPE FOR BOILED SMOKED LAMB SAUSAGES PRODUCED USING THE "HALAL" TECHNOLOGY^{1,2}Akimova Y. V., ^{1,2}Slozhenkina M. I., ^{1,2}Gorlov I. F.¹Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production²Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 15.04.2025

Submitted 07.05.2025

Abstract

Introduction. In modern conditions of development of the food industry, the development of recipes for meat products that meet halal requirements is becoming particularly relevant. The production of boiled and smoked lamb sausages using halal technology is of great interest both to expand the range of meat products and to meet the growing demand from consumers who adhere to Islamic traditions. **Object.** Development of a recipe for boiled and smoked sausages using Halal technology; scientific justification for the use of meat and chicken meat obtained from the Volga type of the Edilbaev sheep breed. **Materials and methods.** Experimental samples were developed in accordance with GOST R 70401-2022 according to the classical formulation. The samples were produced on the territory of the workshop of «Vershina Vkusa» LLC. The study of physical and chemical and organoleptic parameters was carried out on the territory of the GNU NIIMMP (KALab integrated analytical laboratory) in accordance with generally accepted and relevant standards. **Results.** The advantages of using raw materials obtained from a new type of sheep were substantiated. These mutton and turkey fat have not only a richer taste and a more delicate consistency, but also an increased content of amino and fatty acids, including arachidonic acid, which is not present in all types of meat. **Conclusion.** A recipe for boiled and smoked sausage has been developed from raw materials obtained from Volga sheep. The nutritional potential of mutton and turkey has been studied. The prototype turned out to be not only more useful due to its rich amino and fatty acid composition than the control product, but also thanks to technology, Halal is able to find a click among a large consumer contingent due to the national diversity of our country.

Keywords: boiled smoked sausages, sausage production, lamb processing, tail fat.**Citation.** Akimova Y. V., Slozhenkina M. I., Gorlov I. F. The development and optimization of the recipe for boiled smoked lamb sausages produced using the "Halal" technology. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 411-417 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-46.**Author's contribution.** All authors of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version submitted.**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

УДК 637.524.4

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ ВАРЕНО-КОПЧЕНЫХ КОЛБАС ИЗ БАРАНИНЫ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ «ХАЛЯЛЬ»^{1,2}Акимова Ю. В., магистрант^{1,2}Сложенкина М. И., член-корреспондент РАН, доктор биологических наук^{1,2}Горлов И. Ф., академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук¹«Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В современных условиях развития пищевой промышленности особую актуальность приобретает разработка рецептов мясных продуктов, соответствующих требованиям халяль. Производство варено-копченых колбас из баранины по технологии «Халяль» представляет значительный интерес как для расширения ассортимента мясных продуктов, так и для удовлетворения растущего спроса со стороны потребителей, придерживающихся исламских традиций. **Цель.** Разработка рецептуры варено-копченых колбас по технологии «Халяль»; научное обоснование использования мяса и курдюка, полученного от Поволжского типа эдильбаевской породы овец. **Материалы и методы.** Экспериментальные образцы были выработаны в соответствии с ГОСТ Р 70401-2022 по классической рецептуре. Образцы производились в условиях цеха ООО «Вершина вкуса». Анализ физико-химических и органолептических свойств проводился на территории ГНУ НИИММП (комплексная аналитическая лаборатория КАЛаб) согласно действующим и широко используемым нормам. **Результаты.** Были доказаны преимущества использования сырья, полученно-

го от нового типа овец. Баранина и курдючный жир, получаемые от этих животных, обладают не только более ярким вкусом и нежной текстурой, но и высокой концентрацией amino- и жирных кислот, включая арахидоновую кислоту, редкую для других видов мяса. **Заключение.** Разработана рецептура варено-копченой колбасы из сырья, полученного от Поволжского типа овец. Изучен пищевой потенциал баранины и курдюка. Опытный образец оказался не только более полезным благодаря богатому amino- и жирнокислотному составу, нежели контрольный продукт, но и благодаря технологии «Халяль» способен найти отклик у большого потребительского контингента из-за национального разнообразия нашей страны.

Ключевые слова: варено-копченые колбасы, производство колбас, переработка баранины, курдючный жир.

Цитирование. Акимова Ю. В., Сложенкина М. И., Горлов И. Ф. Разработка и оптимизация рецептуры варено-копченых колбас из баранины, произведенных по технологии «Халяль». *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 411-417. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-46.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Еда была, есть и будет одним из самых важных аспектов в жизни человека. Пищевая сфера продолжает безостановочно развиваться, предлагая потребителю всё более разнообразную продукцию. Одна из главных и актуальных задач данной индустрии – создание вкусных и полезных продуктов, способных восполнить дефицит многих важных веществ, необходимых для нормального функционирования организма.

Огромную популярность набирают задачи создания халяльной мясной продукции, так как она отличается не только натуральным составом, но и строгостью к технологии и качеству [1]. Согласно источникам, в 2022 году наблюдался подъем на рынке халяльной продукции, составивший 11,2 % по сравнению с предыдущим годом. А по итогам 2023 г. российский рынок вырос на 8 % в сравнении с аналогичным показателем 2022 г. [2]. Важной положительной тенденцией является устойчивое увеличение интереса и лояльности к халяльной продукции среди потребителей других конфессий [3].

Баранина является одним из самых полезных видов мяса. Небольшое количество холестерина и высокое содержание белка делает сырье практически диетическим, не оказывающим негативное влияние на сердечно-сосудистую систему и ЖКТ [4, 5].

Отличие нового типа овец от исходной породы заключается не только в повышенном содержании белка, уменьшенном – жира, но и вкусовыми качествами, а также богатым amino- и жирокислотным составом, в том числе и ПНЖК. Полиненасыщенные жирные кислоты имеют особый научный интерес, так как не вырабатываются организмом [6].

В баранине присутствует широкий спектр полезных веществ, включая железо, фосфор, йод, натрий, магний, калий и кальций. Кроме того, баранина является источником витаминов E, B1, B12, PP и фтора. Важно отметить наличие лецитина и арахидоновой кислоты, редкого компонента для других видов мяса.

Курдючный жир отличается от прочих животных жиров высоким содержанием жирных кислот, витаминов, а также макро- и микроэлементов. В его составе можно обнаружить цинк, медь, витамины группы B, магний, селен, витамины A и E. Это делает курдюк ценным источником питательных веществ.

При включении продукта в рацион улучшается состояние кожи и волос, активизируется обмен веществ, повышается уровень гемоглобина, нормализуется работа сердца [7].

Поэтому использование баранины и курдючного жира позволит создать полезный и вкусный продукт, с возможностью минимизировать потери производства [8, 9].

Целью работы является разработка рецептуры варено-копченой колбасы с использованием сырья, полученного от Поволжского типа эдильбаевской породы овец в соответствии со всеми стандартами, присущими продукции «Халяль», а также научно обосновать пищевой потенциал используемого сырья.

Материалы и методы. Для проведения исследований в производственных условиях ООО «Вершина вкуса» были изготовлены образцы варено-копченых колбасных изделий, где главными компонентами выступали баранина и курдючный жир (ГОСТ 34200-2017). В роли дополнительных ингредиентов применялись: чеснок (согласно ГОСТ 33562-2015), нитритно-посолочная композиция (по ГОСТ Р 58859-2020), поваренная соль (соглас-

но ГОСТ Р 51574-2018) и пряности (в соответствии с ГОСТ ISO 927-2014). Первый образец был изготовлен из баранины и курдючного жира, полученных от исходной породы овец. Второй образец был создан с использованием сырья, полученного от нового типа овец.

Изготовление и исследование полученных образцов включали в себя подготовку сырья, создание образцов, определение массовой доли белка, жира, поваренной соли, нитрита натрия, состав незаменимых аминокислот и полиненасыщенных жирных кислот, а также органолептическую оценку.

Экспериментальные варено-копченые колбасные изделия вырабатывались в соответствии с ГОСТ Р 70401-2022. Технология производства экспериментальных варено-копченых колбасных изделий включала в себя следующие этапы: отбор сырья, полученного от животных, убитых по нормам ислама; промывка и подготовка сырья, его измельчение, внесение халляльных приправ, соли и трав; формовка батонов, их осадка в течение суток, термообработка: первичное копчение 2 ч. при 75 ± 5 °C, варка при 80 ± 2 °C до достижения в центре батона 72 °C, охлаждение, вторичное копчение в течение 24 ч. при 42 ± 3 °C, сушка на протяжении 2-3 суток при $10-12$ °C. Завершающие стадии: упаковка, сертификация продукции как халляльной, специальная маркировка, подчеркивающая халляльный статус продукции, и хранение [10, 11].

Определение массовой доли белка осуществляли по ГОСТ 25011-2017, массовой доли жира – ГОСТ 23042-2015. Содержание незаменимых аминокислот в изучаемых образцах определяли по ГОСТ 34132-2017, полиненасыщенных жирных кислот – ГОСТ Р 55483-2013. Органолептические показатели образцов устанавливали по ГОСТ 53161-2008 ГОСТ Р 55455-2013.

Результаты и обсуждение. Варено-копченые колбасы были изготовлены в соответствии с традиционными методами производства колбасных изделий, с включением изучаемого сырья в состав рецептуры. Изготовление образцов происходило в производственном цехе ООО «Вершина вкуса», а аналитические испытания осуществлялись в комплексной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП.

Рецептура полученных образцов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура опытных образцов
Table 1 – Recipe for prototypes

Наименование сырья / Name of raw materials	Количество / Quantity
Сырье несоленое, кг на 100 кг: / Unsalted raw materials, kg per 100 kg:	
Баранина / Sheepmeat	80
Курдючный жир / Fat tail	20
ИТОГО несоленого сырья / TOTAL unsalted raw materials	100
Вспомогательное сырье, г на 100 кг несоленого сырья: / Auxiliary raw materials, g per 100 kg of unsalted raw materials:	
Чеснок / Garlic	3000
Соль поваренная / Table salt	3000
Нитритно-посолочная смесь / Nitrite-salt mixture	100
Сахар / Sugar	1000
Кориандр / Coriander	100
Кардамон / Cardamom	100
Итого, кг / Total, kg	107,3

Качество продукции напрямую связано с ее физико-химическими и органолептическими показателями. По этой причине были проведены анализы массовой доли белка, жира, поваренной соли и нитрита натрия, а также содержание незаменимых аминокислот и ПНЖК, а также была проведена дегустация с 12 экспертами.

В таблице 2 представлены физико-химические характеристики изучаемых образцов варено-копченых колбасных изделий.

Анализ данных выявил, что использование изучаемого сырья в составе продукта оказало заметное воздействие на процентное содержание белка и жира. В частности, в экспериментальном варианте было зафиксировано повышение концентрации белка на 1,2 % при одновременном снижении доли жира на 1,4 %. Подобную тенденцию можно связать с уникальным химическим составом сырья, полученного от Поволжского типа овец. Что касается количества незаменимых аминокислот и ПНЖК, которые не синтезируются в

организме, а поступают только с едой, то в образце, где использовалось сырье, полученное от Поволжского типа эдильбаевской породы овец, наблюдается более высокое содержание данных веществ.

Таблица 2 – Физико-химические показатели образцов
Table 2 – Physical and chemical parameters of the samples

Наименование показателя / Naming of the indicator	Варено-копченая колбаса / Boiled and smoked sausage	
	Образец 1 (контроль) / Sample 1 (control)	Образец 2 / Sample 2
Массовая концентрация белка, %, не менее / Mass concentration of protein, %, not less	16,0	17,2
Массовая концентрация жира, %, не более / Mass concentration of fat, %, not more	19,3	17,9
Массовая концентрация хлористого натрия, %, не более / Mass concentration of sodium chloride, %, not more	3,87	3,90
Массовая концентрация нитрита натрия, %, не более / Mass concentration of sodium nitrite, %, not more	0,005	0,005

Содержание незаменимых аминокислот в изучаемых образцах представлено на рисунке 1.

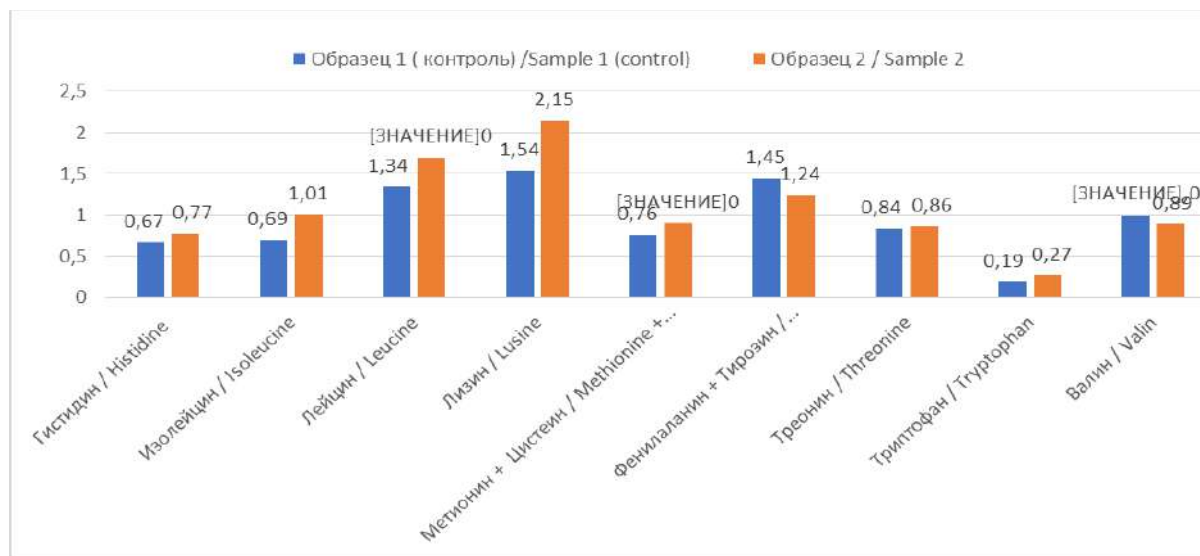


Рисунок 1 – Аминокислотный состав образцов (г/на 100 г баранины)
Figure 1 – Amino acid composition of samples (g/per 100 g of lamb)

Экспериментальные данные, представленные на рисунке, показали, что содержание незаменимых аминокислот в опытном образце было больше: гистидина на 15 %; изолейцина на 46 %; лейцина на 27 %; лизина на 40 %; сумма метионина и цистеина на 19 %; треонина на 2 %; триптофана на 42 %. Исключением стали валин и сумма фенилаланина и тирозина, значение которых в опытном образце было меньше на 12 % и 17 % соответственно. Это означает, что использование сырья от Поволжской породы способствует обогащению продукции незаменимыми аминокислотами.

Содержание полиненасыщенных жирных кислот в изучаемых образцах представлены на рисунке 2.

Результаты исследований показали, что опытный образец превосходит контрольный по количеству: линолевой кислоты на 26 %, линоленовой на 10 %, арахидоновой на 33 %. Полиненасыщенные жирные кислоты осуществляют контроль над сердечно-сосудистой, репродуктивной, иммунной, интеллектуальной и эндокринной системами человека [12], а значит, являются неотъемлемой частью для полноценного здоровья человека. Таким образом, их наличие представляет особый интерес, поэтому употребление колбасы, в котором используется сырье от нового типа овец, способна восполнить дефицит таких важных веществ.

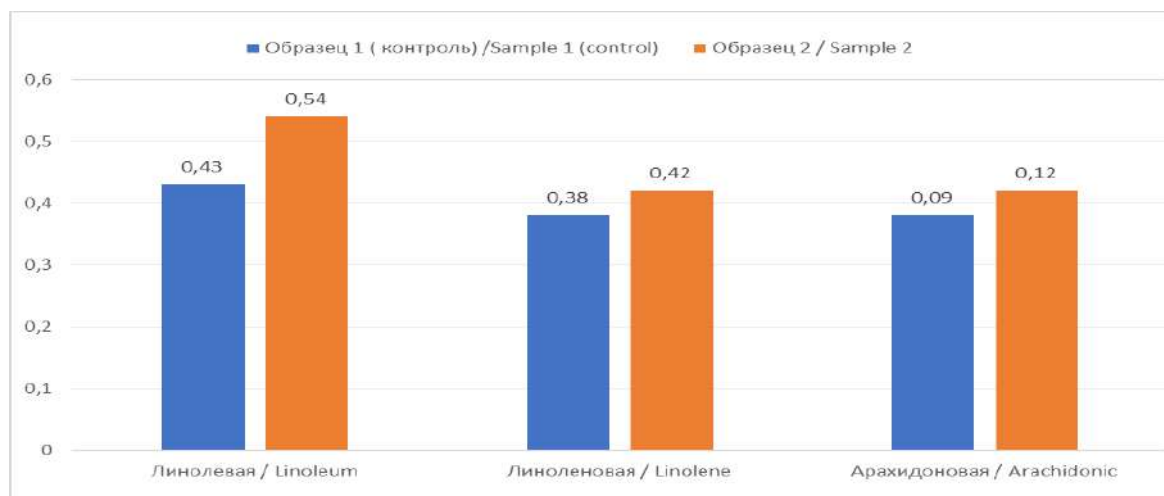


Рисунок 2 – Количество ПНЖК опытных образцов
Figure 2 – Number of PFA prototypes

На рисунке 3 представлена профилограмма, разработанная на основе экспертных оценок и отражающая данные по исследуемым показателям.

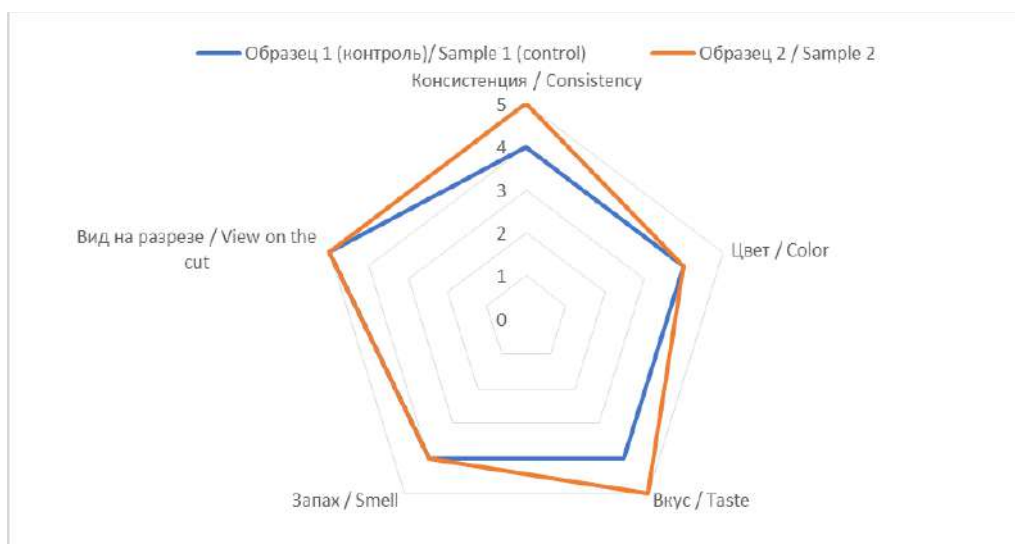


Рисунок 3 – Профилограмма органолептических показателей образцов
Figure 3 – Profilogram of organoleptic parameters of the samples

Органолептические показатели образцов были практически идентичными. Опытный образец превосходил контрольный более нежной консистенцией и менее выраженными специфичными привкусом и запахом, присущем баранине. Цвет на разрезе не отличался.

Заключение. Результаты исследований показали, что разработанная рецептура колбасных изделий удовлетворяет все требованиям к халяльной продукции. Использование баранины, полученной от овец Поволжского типа эдильбаевской породы, позволило увеличить содержание незаменимых аминокислот, необходимых для метаболизма, восстановлению мышц, образования антител для улучшения иммунной системы. Добавление курдючного жира способствовало обогащению продукта макро- и микроэлементами, витаминами и полиненасыщенными жирными кислотами, участвующими в борьбе с воспалениями, гормональной регуляцией и улучшении состояния кожи и волос.

После проведения органолептической оценки было выявлено, что благодаря особому химическому составу, из-за которого в сырье присутствует больше белка, и меньше – жира, продукт имел более нежную и упругую консистенцию, при этом эксперты отметили менее выраженные привкус и запах баранины в опытном образце, которые не всегда могут нравиться потребителям.

Таким образом, были подтверждены преимущества использования сырья, полученного от Поволжского типа овец эдильбаевской породы, в производстве колбас. Помимо множества полезных веществ, которые содержатся в готовом продукте, использование технологии «Халяль» при его изготовлении не только позволит расширить потребительский контингент, но и даст гарантию высокого качества продукции.

Conclusions. The research results have shown that the developed sausage recipe meets all the requirements for halal products. The use of mutton obtained from the Volga type of the Edilbaev sheep breed made it possible to increase the content of essential amino acids necessary for metabolism, muscle recovery, and the formation of antibodies to improve the immune system. The addition of chicken fat contributed to the enrichment of the product with macro- and microelements, vitamins and polyunsaturated fatty acids involved in the fight against inflammation, hormonal regulation and improvement of skin and hair condition.

After conducting an organoleptic evaluation, it was revealed that due to the special chemical composition, which contains more protein and less fat in the raw material, the product had a more delicate and elastic consistency, while experts noted a less pronounced taste and smell of mutton in the prototype, which consumers may not always like.

Thus, the advantages of using raw materials obtained from the Volga type of sheep of the Edilbaev breed in sausage production were confirmed. In addition to the many useful substances contained in the finished product, the use of Halal technology in its manufacture will not only expand the consumer base, but also provide a guarantee of high product quality.

Библиографический список

1. Абакаров К. Производство мясной продукции халяль: сертификация как стимул к росту. 2021. № 1 (83). С. 40-42.
2. Шохвалов Ш. А. Обзор мирового рынка халяль: динамика, состав и структура. Экономический анализ: теория и практика. 2019. № 7. С. 1309-1321.
3. Петрова Ю. В., Щупакова Ю. И., Кравченко Р. Е. Качество и безопасность мясной продукции с маркировкой Халяль на российском рынке. Аcaдeмy. 2019. № 7. С. 90-92.
4. Вологирова Д. А., Жекамухов М. Х. Питательная ценность и диетическое достоинство баранины. Пищевая индустрия. 2021. № 2 (46). С. 42-43.
5. Моргунова Н. Л. Теоретические аспекты разработки технологии продуктов из баранины. Аграрные конференции. 2023. № 38 (2). С. 10-15.
6. Укроженко Д. С., Лукомская А. А., Чепуштанова О. В. Области применения курдючного жира. Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса России: материалы научно-практической конференции. Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2022. С. 151-152.
7. Ерохин А. И., Карасев Е. А., Ерохин С. А., Лушников В. П. Баранина: состав и свойства, увеличение производства и повышение качества. ИЦ "Наука", 2021. 270 с.
8. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Церенов И. В. Особенности аминокислотного состава мяса овец эдильбаевской породы нового "поволжского" типа. Овцы, козы, шерстяное дело. 2021. № 4. С. 23-25.
9. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Церенов И. В. и др. Биологическая ценность жировой ткани эдильбаевских овец "Поволжского" типа. Зоотехния. 2022. № 6. С. 36-39.
10. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Федотова Г. В. Разработка рецептуры мясного продукта функциональной направленности. Пищевая промышленность. 2019. № 8. С. 40-43.
11. Моргунова Н. Л. Теоретические аспекты разработки технологии продуктов из баранины халяль. Аграрные конференции. 2023. № 38 (2). С. 10-15.
12. Самойлова Ю. Г., Олейник О. А., Саган Е. В. и др. Роль полиненасыщенных жирных кислот в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний у детей, страдающих ожирением. Современные проблемы науки и образования. 2019. № 6.

References

1. Abakarov K. Halal meat production: certification as an incentive for growth. 2021. No 1 (83). Pp. 40-42.
2. Shokhvalov S. A. Overview of the global halal market: dynamics, composition and structure. Economic analysis: theory and practice. 2019. No 7. Pp. 1309-1321.
3. Petrova Yu. V., Shchupakova Yu. I., Kravchenko R. E. Quality and safety of meat products labeled Halal on the Russian market. Academy. 2019. No 7. Pp. 90-92.
4. Vologirova D. A., Zhekamukhov M. Kh. Nutritional value and dietary dignity of mutton. Food industry. 2021. No 2 (46). Pp. 42-43.
5. Morgunova N. L. Theoretical aspects of the development of mutton products technology. Agrarian Conferences. 2023. No 38 (2). Pp. 10-15.
6. Ukrozhenko D. S., Lukomskaya A. A., Chepushtanova O. V. Areas of application of chicken fat. Actual problems of the development of the agro-industrial complex of Russia: Materials of the Scientific and Practical Conference. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 2022. Pp. 151-152.
7. Erokhin A. I., Karasev E. A., Erokhin S. A., Lushnikov V. P. Mutton: composition and properties, increased production and improved quality. PH "Nauka", 2021. 270 p.
8. Gorlov I. F., Skladenkina M. I., Tserenov I. V. Features of the amino acid composition of sheep meat of the Edilbaevskaya breed of the new "Volga" type. Sheep, goats, woolen business. 2021. No 4. Pp. 23-25.
9. Gorlov I. F., Skladenkina M. I., Tserenov I. V. et al. Biological value of adipose tissue of Edilbaevsky sheep of the "Volga" type. Zootechnia. 2022. No 6. Pp. 36-39.

10. Gorlov I. F., Skladenkina M. I., Fedotova G. V. Development of a recipe for a meat product of functional orientation. Food industry. 2019. No 8. Pp. 40-43.

11. Morgunova N. L. Theoretical aspects of the development of technology for halal mutton products. Agrarian Conferences. 2023. No 38 (2). Pp. 10-15.

12. Samoilova Yu. G., Oleinik O. A., Sagan E. V. et al. The role of polyunsaturated fatty acids in the prevention of cardiovascular diseases in obese children. Modern problems of science and education. 2019. № 6.

Информация об авторах

Акимова Юлия Витальевна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6); магистрант ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: superjulia2901@gmail.com

Сложенкина Марина Ивановна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6); профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО ВолгГТУ "Технология пищевых производств", научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Akimova Yulia Vitalievna, Research Laboratory Assistant, Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6); student, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: superjulia2901@gmail.com

Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director, Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6); Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID:0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fiodorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of VSTU "Technology of food production", Scientific Director, Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

**АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ /
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES**

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-47

**THE COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE BASIC TILLAGE SYSTEMS IN THE DRY
AGRICULTURE****Borisenko I. B., Gubina L. V., Osipov B. I.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: borisenivan@yandex.ru

Received 21.01.2025

Submitted 16.04.2025

Abstract

Introduction. Increasing the production of vegetable protein is of great practical importance. The value of leguminous crops is not limited to the high content of high-quality food and fodder vegetable protein. The activity of nodule bacteria contributes to increasing soil fertility and increasing environmentally friendly products. Deep basic tillage contributes to the development of the taproot system, as well as moisture storage, good aeration and the development of nodule bacteria due to loosening of the soil, which increases yields. **Object.** The object of the study was the chickpea variety Privo 1. **Materials and methods.** In accordance with the aim and objectives of the study, a scheme of field experiment was developed, which includes three options for basic tillage: 1) moldboard tillage with a plow MUP–8x40 equipped with moldboard working tools to a depth of 0.23–0.25 m; 2) non-moldboard loosening with a chisel rack to a depth of 0.35–0.38 m; 3) non-moldboard loosening with a chisel rack with installed cutting wings to a depth of 0.35–0.38/0.10–0.12 m. **Results and conclusions.** Preliminary studies of tillage with chisel working tools with undercutting wings showed a decrease in the content of erosion-hazardous particles in the surface layer of 0–0.5 m by 9.21 % relative to moldboard tillage and 6.9 % relative to chiseling. Analysis of the time of movement of the working tools in question in the experimental section allows us to determine the most energy-efficient option: chisel achieves the highest speed due to a smaller area of contact with the soil, the blade is slower by 11.03 %, and slower than chisel with wings by 8.24 %. In the conditions of arid farming, the growth rate and quality of the formed chickpea crop are significantly influenced by the humidity and temperature of the soil layer. To analyze these indicators, soil moisture and temperature measurements were carried out within three days after field work. Chisel machining has a two-fold advantage over moldboard machining and 4.84 % with a rack upgraded with additional tines. With deeper sampling, the difference in moisture values between treatments decreases, but the moldboard continues to be inferior to chisel. The correct choice of the working tool will allow you to get more moisture, a more favorable environment for the growth of chickpeas and the formation of nodule bacteria on its roots, as well as the protection of the surface layer from erosion processes.

Keywords: moldboard tillage, chiseling, tillage technologies, hydrothermal indicators of soil, chickpea cultivation.

Citation. Borisenko I. B., Gubina L. V., Osipov B. I. The comparative assessment of the basic tillage systems in the dry agriculture. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 418–426 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-47.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.51:635.657

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ
ЗАСУШЛИВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ****Борисенко И. Б., доктор технических наук
Губина Л. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Осипов Б. И., аспирант***ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Наращивание производства объемов растительного белка имеет большое практическое значение. Ценность зернобобовых культур не ограничивается высокими показателями содержания высококачественного пищевого и кормового растительного белка. Деятельность клубеньковых бактерий способствует повышению почвенного плодородия и увеличению экологически чистой продукции. Глубокая основная обработка почвы способствует развитию стержневой корневой системы, а также накоплению влаги, хорошей аэрации и развитию клубеньковых бактерий за счет

рыхления почвы, что повышает урожайность. **Объект исследований.** Объектом исследования был выбран сорт нута Приво 1. **Материалы и методы.** В соответствии с поставленной целью и задачами исследования была разработана схема полевого опыта, включающая три варианта основной обработки почвы: 1) отвальная обработка плугом ПНУ–8х40, оборудованного отвальными рабочими органами на глубину 0,23-0,25 м; 2) безотвальное рыхление чизельной стойкой на глубину 0,35-0,38 м; 3) безотвальное рыхление чизельной стойкой с установленными подрезающими крыльями на глубину 0,35-0,38/0,10-0,12 м. **Результаты и выводы.** Предварительные исследования обработки почвы чизельными рабочими органами с подрезающими крыльями показали снижение содержания эрозивно-опасных частиц в поверхностном слое 0-0,5 м на 9,21 % относительно отвальной обработки и 6,9 % относительно чизелевания. Анализ времени движения рассматриваемых рабочих органов по опытному участку позволяет установить наиболее энергоэффективный вариант: чизель достигает наибольшей скорости за счет меньшей площади соприкосновения с почвой, отвал оказывается медленнее на 11,03 %, и медленнее чизеля с крыльями на 8,24 %. В условиях засушливого земледелия на темпы роста и качество сформированного урожая нута существенное влияние оказывают влажность и температура почвенного слоя. Для анализа данных показателей в течение трех дней после полевых работ проводились замеры влажности и температуры почвы. Чизельная обработка имеет двухкратное преимущество перед отвальной обработкой и 4,84 % со стойкой, модернизированной дополнительными лапами. При углублении взятия образцов разница в показателях влажности между обработками снижается, однако отвальная продолжает уступать чизельным. Правильный выбор рабочего органа позволит получить большее количество влаги, более благоприятную среду произрастания нута и формирования клубеньковых бактерий на его корнях, а также защиту поверхностного слоя от эрозионных процессов.

Ключевые слова: отвальная обработка почвы, чизелевание, технологии обработки почвы, гидротермические показатели почвы, возделывание нута.

Цитирование. Борисенко И. Б., Губина Л. В., Осипов Б. И. Сравнительная оценка систем основной обработки почвы в условиях засушливого земледелия. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 418-426. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-47.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Зернобобовые культуры имеют большое практическое значение, как основной источник высококачественного пищевого и кормового растительного белка. При возделывании культура накапливает в почве от сорока до восьмидесяти килограммов азота на гектар и является ценным источником органических веществ [1, 2]. Переводит питательные вещества из глубоких слоев почвы в верхние горизонты, способствует сохранению и улучшению почвенного плодородия, является хорошими предшественниками для многих полевых культур и влияет на увеличение экологически чистой продукции [3].

Нут улучшает биологические процессы в почве благодаря благоприятному химическому составу корневых и пожнивных остатков, а также переводит труднорастворимые фосфаты в усвояемые формы, повышая тем самым плодородие почвы [4, 5]. Глубокая основная обработка способствует развитию стержневой корневой системы, а также накоплению влаги, хорошей аэрации и развитию клубеньковых бактерий за счет рыхления почвы, что повышает урожайность нута. Для нута лучшим предшественником является пар или озимая пшеница. Правильная технология возделывания нута помогает значительно снизить количество сорняков, к которым нут чувствителен [6-9].

Материалы и методы. Основной целью исследования является изучение влияния различных обработок почвы на эффективность возделывания нута в засушливых условиях Волгоградской области. Исходя из данной цели был заложен опыт на поле хозяйства АО «Солодча» в Ольховском районе Волгоградской области. Принятая схема опыта позволяет изучить влияние технологии основной обработки почвы на эффективность возделывания нута в условиях Волгоградской области.

Нут возделывается в трехпольном севообороте с наиболее оптимальными предшественниками для данной зоны, а именно – пар и озимая пшеница. Черный пар позволяет накапливать в почве наибольшее количество влаги в сравнении с другими предшественниками, что крайне важно при возделывании нута на каштановых почвах засушливых условиях. Озимая пшеница также является оптимальным выбором в качестве предшественника, поскольку данная культура крайне актуальна для выращивания в Волгоградской области. Она способствует стабилизации экономического баланса севооборота. В качестве сорта был выбран Приво 1, который является засухоустойчивым и скороспелым.

На рисунке 1 приведена схема полевого опыта. Закладка вариантов основной обработки почвы проведены в первой декаде октября согласно схеме опыта [10].

Технология обработки почвы / Tillage technology	Марка орудия / Brand of tillage implements	Глубина обработки, см / Depth of tillage, cm
Отвальная / Moldboard tillage	ПНУ-8х40 / MUP-8х40	23-25
Чизелевание / Chiseling	ПНУ-8х40 / MUP-8х40	35-38
Чизелевание + лапа / Chiseling + undercutting wing	ПНУ-8х40 / MUP-8х40	35-38 / 10-12

Рисунок 1 – Схема полевого опыта
Figure 1 – Scheme of the field experiment

Первый вариант опыта включает отвальную обработку плугом ПНУ-8х40 оборудованный отвальными рабочими органами. Отвальный плуг проводит рыхление почвы с оборотом пласта на глубину обработки. При этом увеличивается площадь соприкосновения верхнего почвенного слоя с внешней средой, из-за чего происходит усиленная потеря влаги. Также образуется плужная подошва, что мешает нуту использовать его мощный стержневой корень, способный добывать влагу из глубинных слоев почвы. Отвальная обработка эффективно заделывает в почву растительные остатки, семена сорняков и различных вредителей. Но, при движении почвы по отвалу создаются эрозионно-опасные частицы. Также при взаимном перемещении верхнего и нижнего слоя почвы происходит их смешивание, что приводит к частичной гибели аэробных и анаэробных почвенных бактерий [11].

В качестве второго варианта в опыте на плуге ПНУ-8х40 вместо отвального рабочего органа используется чизельная стойка, которая производит глубокое безотвальное рыхление. Данный рабочий орган представляет прямую стойку, у которой имеется башмак с накладным долотом. При такой почвенной обработке разрушается плужная подошва, и происходит рыхление обрабатываемого слоя. При этом корневая система нута получает более благоприятные условия для своего развития [12].

Третий опытный вариант – на чизельной стойке дополнительно установлено подрезающее крыло.

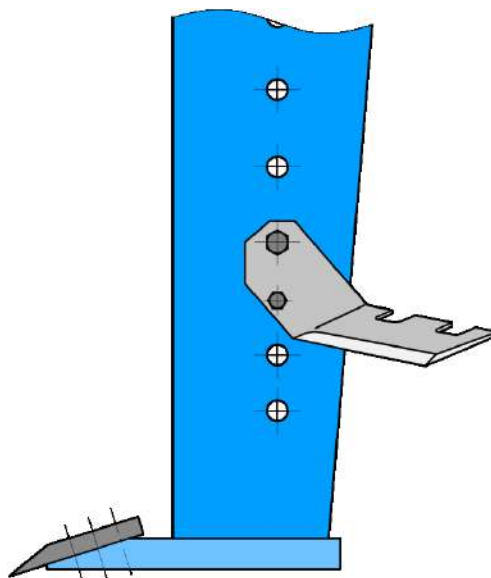


Рисунок 2 – Модернизированная чизельная стойка
Figure 2 – Modernized chisel rack

Данная модернизация рабочего органа увеличивает эффективность крошения обрабатываемого слоя, в особенности на глубине прорастания семян и развития клубеньковых бактерий, что благоприятно скажется на их развитии и позволит повысить почвенное плодородие в целом. Для снижения образования эрозионных частиц в подрезающих кры-

лях были сделаны вырезы. При движении почвы по предлагаемым подрезающим крыльям и переменном сходе вызовет дополнительное растяжение, сепарирование по фракциям и опускание в нижние слои эрозионно-опасные частицы [13, 14, 15].

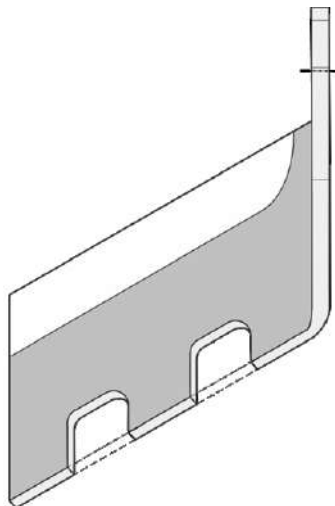


Рисунок 3 – Подрезающее крыло, прикрепляемое к чизельной стойке
Figure 3 – Undercutting wing attached to chisel strut

Для чизельных орудий глубина обработки почвы была выбрана на 12-15 см больше, чтобы зона сплошного рыхления совпадала относительно отвальной обработки, что способствует более точному сравнению результатов опыта. Обработка чизелем будет приводить к разрушению плужной подошвы и подъему влаги из нижних слоев почвы к зоне прорастания нута. А благодаря прикрепляемым подрезающим крыльям семена нута получают более благоприятную среду для прорастания за счет снижения плотности окружающей их почвы.

Схема полевого опыта

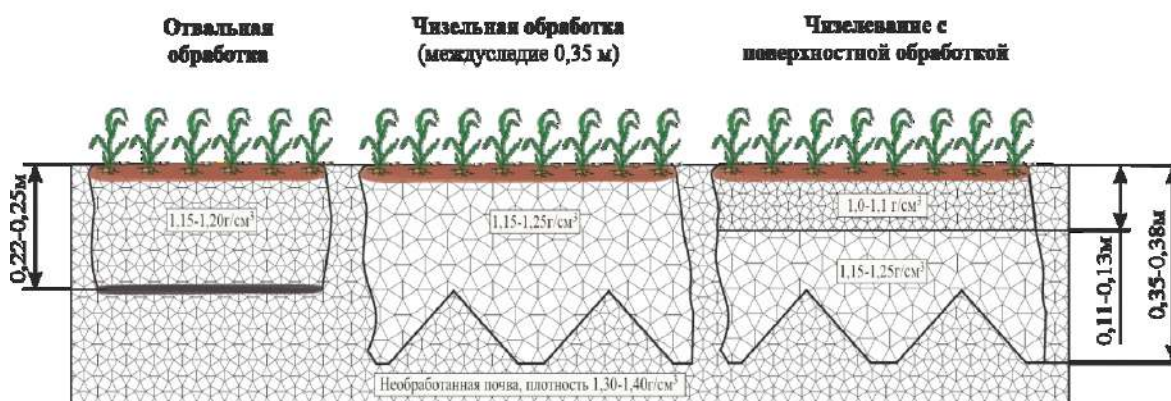


Рисунок 4 – Обработка почвы в опыте
Figure 4 – Tillage in the experiment

Результаты и обсуждение. Предварительные исследования обработки почвы чизельными рабочими органами с подрезающими крыльями показали снижение содержания эрозионно-опасных частиц в поверхностном слое 0-5 см на 9,21 % относительно отвальной обработки и 6,9 % относительно чизелевания.

Скорость движения рабочего органа является важным критерием почвенной обработки. С ее помощью можно понять, какое усилие испытывает тянущее транспортное средство, а, следовательно, и уровень его расхода топливной жидкости, оказывающую большое влияние на рентабельность возделывания культуры.

Таблица 1 – Время движения почвообрабатывающего агрегата, сек.

Table 1 – Time of movement of the tillage unit, sec.

Направление движения агрегата / Direction of movement of the unit	Отвал / Dump	Чизель + крылья / Chisel + Wings	Чизель / Chisel plow
Вперед / Forward	535,0	472,0	453,0
	498,0	469,0	454,0
	502,0	464,0	456,0
Назад / Back	525,0	469,0	459,0
	511,0	477,0	458,0
	511,0	473,0	460,0

В данной таблице показано время движения рассматриваемых рабочих органов по опытному участку. Используя эти данные, мы можем вычислить среднее время для каждой обработки и, таким образом, установить наиболее энергоэффективную, так как во всех случаях тянувший Кировец двигался на одинаковой передаче (2-2).

Таблица 2 – Среднее время движения почвообрабатывающего агрегата, сек.

Table 2 – Average time of movement of the tillage unit, sec.

Направление движения агрегата / Direction of movement of the unit	Отвал / Dump	Чизель + крылья / Chisel + Wings	Чизель / Chisel plow
Вперед / Forward	511,7	468,3	454,3
Назад / Back	515,7	473,0	459,0
Среднее / Average	513,7	470,7	456,7

Исходя из данных таблиц 1 и 2, можно прийти к выводам, что, несмотря на увеличение глубины чизелевания на 12-15 см, время движения агрегата увеличилось относительно отвальной обработки на 11,1 % и 2,73 % относительно чизеля с подрезающими крыльями. Относительно чизельной обработки, продолжительность движения агрегата при отвальной обработки снизилось на 12,48 %, а относительно чизелевания с подрезающими крыльями – 3,07 %.

Используя данные таблиц 1 и 2, вычислим среднеквадратическое отклонение, которое покажет разброс значений в выборке данных в зависимости от вида почвенной обработки.

Таблица 3 – Среднеквадратическое отклонение времени движения почвообрабатывающего агрегата

Table 3 – Standard deviation of the movement time of the tillage unit

Направление движения агрегата / Direction of movement of the unit	Отвал / Dump	Чизель + крылья / Chisel + Wings	Чизель / Chisel plow
Вперед / Forward	544,4	13,4	1,8
	186,8	0,4	0,1
	93,4	18,8	2,8
Назад / Back	87,1	16,0	0,0
	21,8	16,0	1,0
	21,8	0,0	1,0
Среднее / Average	159,2	10,8	1,1

Изучая данные таблицы 3, можно увидеть, что наименьший разброс значений был достигнут при обработке почвы чизельной стойкой, поскольку ее рабочий орган крошения – долото, имеет наименьшее сопротивление при крошении почвы. Чизельная стойка с прикрепляемыми крыльями имеет больший разброс значений за счет предлагаемых креплений, однако этот показатель значительно меньше отвального плуга, поскольку на прикрепляемые крылья с вырезом попадает уже измельченная долотом почва.

Так как нам известна длина опытного участка – 1200 м, то мы можем вычислить скорость движения агрегатов (таблица 4), а затем усреднить ее (таблица 5) для простоты понимания разницы прилагаемого Кировцем усилия при представленных почвенных обработках.

Таблица 4 – Скорость движения почвообрабатывающего агрегата, м/с
Table 4 – Speed of the tillage unit, m/s

Направление движения агрегата / Direction of movement of the unit	Отвал / Dump	Чизель + крылья / Chisel + Wings	Чизель / Chisel plow
Вперед / Forward	2,24	2,54	2,65
	2,41	2,56	2,64
	2,39	2,59	2,63
Назад / Back	2,29	2,56	2,61
	2,35	2,52	2,62
	2,35	2,54	2,61

Таблица 5 – Средняя скорость движения агрегата, м/с
Table 5 – Average speed of the unit, m/s

Направление движения агрегата / Direction of movement of the unit	Отвал / Dump	Чизель + крылья / Chisel + Wings	Чизель / Chisel plow
Вперед / Forward	2,35	2,56	2,64
Назад / Back	2,33	2,54	2,61
Среднее / Average	2,34	2,55	2,63

По данным таблиц 4 и 5 можно сделать вывод, что чизель достигает наибольшей скорости за счет меньшей площади соприкосновения с почвой. Отвал же оказывается медленнее на 11,03 %, и медленнее чизеля с крыльями на 8,24 %.

Важнейшими показателями в условиях засушливого земледелия являются влажность и температура почвенного слоя, так как от этих показателей зависят темпы роста растения и качество сформированного урожая.

Таблица 6 – Гидротермические показатели почвы при отвальной обработке
Table 6 – Hydrothermal indicators of the soil during moldboard cultivation

Повторность / Repetition	Глубина, см / Depth, cm	Влажность, % / Humidity, %	Температура, °C / Temperature, °C
1	10	0,98	18
	20	17,2	18,7
	30	19,5	18,2
2	10	9,5	18,1
	20	12,9	18,4
	30	14,0	18,2
3	10	8,8	18,3
	20	20,8	19,0
	30	21,4	19,1
4	10	15,5	18,5
	20	15,8	18,6
	30	14,5	18,1
5	10	0,21	17,9
	20	15,9	18,2
	30	16,1	18,2

В таблице 6 показаны замеры влажности и температуры, взятые на обработанной отвальным плугом почве в течение трех дней после полевых работ. Образцы были взяты на трех уровнях глубины в пятикратной повторности. В случае чизеля и чизеля с крыльями (таблицы 7 и 8), в целях повышения точности опыта, взятие проб осуществлялось как из углубления, так и с гребня. Полученные данные систематизируем и сравним в итоговой таблице (таблица 9).

Таблица 7 – Гидротермические показатели почвы при чизельной обработке
Table 7 – Hydrothermal indicators of soil during chisel cultivation

Повторность / Repetition	Глубина, см / Depth, cm	Влажность, % / Humidity, %		Температура, °C / Temperature, °C	
		Углубление / Recess	Гребень / Soil Ridge	Углубление / Recess	Гребень / Soil Ridge
1	10	15,1	13,7	20,7	21,1
	20	14,8	24,8	21,6	21,1
	30	8,2	21,7	21,7	20,9
2	10	15,9	19,8	10,1	19,6
	20	11,5	19,9	18,4	19,8
	30	15,7	19,8	21,4	21
3	10	15,5	9,7	19,8	20,0
	20	13,9	21,3	20,0	20,0
	30	13,0	17,0	20,1	20,0

Таблица 8 – Гидротермические показатели почвы при чизельной обработке с дополнительными крыльями
Table 8 – Hydrothermal parameters of the soil during chisel cultivation with additional wings

Повторность / Repetition	Глубина, см / Depth, cm	Влажность, % / Humidity, %		Температура, °C / Temperature, °C	
		углубление / recess	гребень / soil ridge	углубление / recess	гребень / soil ridge
1	10	0,98	11,6	20,4	20,1
	20	21,2	21,0	20,7	20,4
	30	18,5	24,5	20,6	20,6
2	10	10,6	11,6	19,9	21,5
	20	16,7	18,3	20,0	22,3
	30	20,9	23,8	20,0	22,4
3	10	18,2	12,6	19,6	19,7
	20	14,6	27,4	19,9	19,9
	30	15,0	26,2	19,9	19,9
4	10	12,0	9,0	18,5	12,2
	20	13,9	16,5	18,9	19,6
	30	11,1	19,9	19,1	19,9
5	10	19,3	12,4	20,1	19,6
	20	22,6	18,7	20,2	19,7
	30	17,9	23,9	19,9	19,3

Таблица 9 – Средние значения температуры и влажности почвы

Table 9 – Average values of soil temperature and moisture

Table 6 - Average values of soil temperature and moisture					
Глубина, см / Depth, cm		Влажность, % / Humidity, %		Температура, °C / Temperature, °C	
Отвал / Dump					
10		6,99		18,16	
20		16,52		18,58	
30		17,1		18,36	
Чизель / Chisel plow					
Глубина, см / Depth, cm		углубление / recess	Гребень / Soil Ridge	углубление / recess	Гребень / Soil Ridge
10		15,5	14,4	16,86	20,23
20		13,4	22,0	20,0	20,3
30		12,3	19,5	21,07	20,63
Чизель + крылья / Chisel + Wings					
10		12,22	11,44	19,7	18,62
20		17,8	20,38	19,94	20,38
30		16,68	23,66	19,9	20,42

Анализируя данные таблицы 9, можно сделать множество выводов относительно влияния почвенных обработок на влагу и температуру в почвенных слоях непосредственно после проведения агротехнической операции. Так, после обработок чизельными рабочими органами в обоих случаях образовались две зоны – углубление, где проходили стойки, и гребень, образовавшийся рядом с ними. В большинстве случаев зона углубления демонстрирует меньшие показатели. Чизель с дополнительными крыльями проигрывает чизельной стойке в поверхностном слое по количеству влаги, из-за дополнительных колебательных процессов и крошения, однако с возрастанием глубины ситуация меняется. Для сравнения с отвальным плугом будет учитываться общая зона чизелевания. Так, можно заметить, что наибольшие различия проявляются во влагообеспеченности поверхностного слоя, до 10 см. Отвальная обработка с 6,99 % влажности уступает чизелю на 7,96 % ($(15,5 + 14,4)/2 = 14,95$; $14,95 - 6,99 = 7,96$), что является более чем двухкратным преимуществом чизельной обработки. В случае со стойкой, модернизированной дополнительными лапами, разрыв немного ниже, но все еще существенный – 4,84 % влажности. Это обусловлено изменением внешнего слоя почвы за счет ее оборачивания и возникновению глыб. Из-за образовавшейся большей площади соприкосновения почвы и внешней среды – разрыв в этом плане будет увеличиваться с течением времени. При углублении взятия образцов можно заметить, что разница в показателях влажности между обработками снижается, однако отвальная продолжает уступать чизельным.

Заключение. Исходя из представленной работы можно прийти к выводу о важности обработки почвы для выращивания нута. Правильный выбор рабочего органа позволит получить большее количество влаги, более благоприятную среду произрастания нута и формирования клубеньковых бактерий на его корнях, а также защиту поверхностного слоя от эрозионных процессов.

Conclusions. Based on the presented work, it can be concluded that it is important to cultivate the soil for growing chickpeas. The correct choice of the working tool will allow you to get more moisture, a more favorable environment for the growth of chickpeas and the formation of nodule bacteria on its roots, as well as the protection of the surface layer from erosion processes.

Библиографический список

1. Ниматулаев Н. М., Казиев М.-Р. А., Магомедов Н. Р. и др. Зернобобовые культуры в севообороте – гарантия повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур: монография. Махачкала: Издательство АЛЕФ, 2023. 198 с.
2. Балашов В. В., Балашов А. В. Волгоградский нут: монография. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2013. 108 с.
3. Балашов В. В., Балашов А. В., Малахова А. А., Балашов В. А. Особенности роста и развития сортов нута Волгоградской селекции на каштановых почвах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 36-45.
4. Балашов В. В., Балашов А. В., Малахова А. А., Балашов В. А. Влияние гидротермических условий на элементы структуры урожая и урожайность сортов нута на каштановых почвах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2. С. 17-23.
5. Сидоров А. Н., Чамурлиев О. Г., Чамурлиев Г. О., Холод А. А., Васина И. А. Изучение эффективности инновационных марок минеральных удобрений при возделывании нута на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 141-148.
6. Сычев В. Г., Тютюма Н. В., Бондаренко А. Н. Усовершенствованные агротехнологические приемы возделывания нута. Плодородие. 2023. № 2 (131). С. 34-37.
7. Кижаяева В. Е., Пешкова В. О., Шадских В. А. Продуктивность агроценозов злаковых и бобовых зерновых культур под влиянием основной обработки почвы и микроудобрений в условиях сухостепного Поволжья при орошении. Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 4. С. 282-296.
8. Гаевая Э. А., Тарадин С. А., Васильченко А. П. Нужна ли минимизация обработки почвы? Фермер. Поволжье, 2017. № 7 (60). С. 46-47.
9. Амангалиев Б. М., Жусупбеков Е. К., Байтаракова К. Ж. Влияние применения способов основной обработки почвы и удобрения на урожайность нута в Алматинской области. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2021. Т. 13. № 4. С. 5-16.
10. Дослехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.
11. Вошедский Н. Н., Ильинская И. Н., Кулыгин В. А. и др. Эколого-экономические особенности технологии возделывания нового сорта нута Донплаза в условиях плакорных и склоновых земель Ростовской области: монография. 2020. 108 с.
12. Борисенко И. Б., Пындак В. И., Новиков А. Е. Развитие чизельных почвообрабатывающих орудий и их теоретическое обоснование. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. № 2. С. 12-19.
13. Борисенко И. Б., Матмуродов Ф. М., Атабаев Б. Г., Мезникова М. В. Способ минимальной обработки почвы с полосным углублением. Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия: материалы международной научно-практической конференции специалистов, ученых и аспирантов. Махачкала, 2020. С. 75-86.
14. Борисенко И. Б., Мезникова М. В., Скрипкин Д. В., Бобриков Д. А. Орудие для внесения удобрений в системе полосового земледелия. Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы VIII Международной научно-практической конференции. Саратов: "Амирит", 2021. С. 366-370.
15. Borisenko I. B., Meznikova M. V. Technology and tools for strip tillage in the energy-saving system of agriculture in Volgograd region. Earth and Environmental Science. Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex". 2021. 012020.

References

1. Nimatulaev N. M., Kaziev M.-R. A., Magomedov N. R., et al. Leguminous Crops in Crop Rotation as a Guarantee of Improving Soil Fertility and Yield of Agricultural Crops: Monograph. Makhachkala: ALEF Publishing House, 2023. 198 p.
2. Balashov V. V., Balashov A. V. Volgograd chickpeas: monograph. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2013. 108 p.
3. Balashov V. V., Balashov A. V., Malakhova A. A., Balashov V. A. Features of growth and development of chickpea varieties of Volgograd selection on chestnut soils of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. № 1 (61). Pp. 36-45.
4. Balashov V. V., Balashov A. V., Malakhova A. A., Balashov V. A. Influence of hydrothermal conditions on the elements of the yield structure and yield of chickpea varieties on chestnut soils of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. № 2. Pp. 17-23.
5. Sidorov A. N., Chamurliiev O. G., Chamurliiev G. O., Kholod A. A., Vasina I. A. Study of the Effectiveness of Innovative Grades of Mineral Fertilizers in the Cultivation of Chickpeas on Light Chestnut Soils of the Volgograd Region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. № 2 (74). Pp. 141-148.
6. Sychev V. G., Tyutyuma N. V., Bondarenko A. N. Improved agrotechnological methods of chickpea cultivation. Fertility. 2023. № 2 (131). Pp. 34-37.

7. Kizhaeva V. E., Peshkova V. O., Shadskikh V. A. Productivity of agroecosystems of cereals and leguminous cereals under the influence of basic tillage and microfertilizers in the conditions of the dry steppe Volga region under irrigation. Land reclamation and hydraulic engineering. 2024. V. 14. № 4. Pp. 282-296.
8. Gaevaya E. A., Taradin S. A., Vasilchenko A. P. Is it necessary to minimize tillage? Farmer. Volga Region, 2017. № 7 (60). Pp. 46-47.
9. Amangaliev B. M., Zhusupbekov E. K., Baitarakova K. Zh. Influence of the use of methods of basic tillage and fertilization on chickpea yield in Almaty region. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2021. V. 13. № 4. Pp. 5-16.
10. Dospikhov B. A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Alliance Publ., 2011. 352 p.
11. Voshedsky N. N., Ilyinskaya I. N., Kulygin V. A., et al. Ecological and Economic Features of the Technology of Cultivation of a New Variety of Donplaza Chickpeas in the Conditions of Plakornykh and Slope Lands of the Rostov Region: Monograph. 2020. 108 p.
12. Borisenko I. B., Pyndak V. I., Novikov A. E. Development of chisel tillage tools and their theoretical justification. Agricultural machinery: maintenance and repair. 2021. № 2. Pp. 12-19.
13. Borisenko I. B., Matmurodov F. M., Atabaev B. G., Meznikova M. V. Method of Minimum Soil Cultivation with Strip Depression. Current state and innovative ways of development of land reclamation and irrigated agriculture: materials of the international scientific and practical conference of specialists, scientists and graduate students. Makhachkala, 2020. Pp. 75-86.
14. Borisenko I. B., Meznikova M. V., Skripkin D. V., Bobrikov D. A. Fertilizer Application Tool in the Strip Farming System. Innovations in Environmental Engineering and Protection in Emergency Situations: Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference. Saratov: "Amirit", 2021. Pp. 366-370.
15. Borisenko I. B., Meznikova M. V. Technology and tools for strip tillage in the energy-saving system of agriculture in Volgograd region. Earth and Environmental Science. Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex". 2021. 012020.

Информация об авторах

Борисенко Иван Борисович, Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru

Губина Лариса Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: gubina.volgau@mail.ru

Осипов Борис Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: b.i.osipov@gmail.com

Authors' Information

Borisenko Ivan Borisovich, Honored Inventor of the Russian Federation, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher, Professor, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru

Gubina Larisa Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: gubina.volgau@mail.ru

Osipov Boris Igorevich, PhD student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: b.i.osipov@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-48

MANAGEMENT OF MOISTURE SUPPLY REGIMES FOR AGRICULTURAL CROPS BASED ON THE USE OF AN EMPIRICAL MODEL OF SOIL HEAT AND MOISTURE TRANSFER¹Kalinin A. B., ¹Smelik V. A., ¹Teplinsky I. Z., ²Fomin S. D., ³Yinjiang Jia, ³Rui Gao¹*Saint-Petersburg State Agrarian University
St. Petersburg, Russian Federation*²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*³*Northeast Agricultural University
Harbin, China*

Corresponding author E-mail: andrkalinin@yandex.ru

Received 10.04.2025

Submitted 26.05.2025

Summary

Current article presents the research materials of the processes of moisture supply of the root spreading zone in the soil, as a result of which empirical models of intra-soil heat-moisture transfer were obtained when using various tillage methods. The use of the obtained models allowed choosing tillage methods to ensure its rational water regime.

Abstract

Introduction. Currently, the stability of agricultural crop production is predetermined by the level of moisture supply to plants, which in dry farming depends on the level and uniformity of precipitation, and on irrigated lands – on the intensity of irrigation. The widespread use of energy-intensive equipment in intensive crop cultivation technologies increases the negative effects of global climate change, creating over-compacted zones in the root zone, which impede the movement of moisture within the soil. To manage the

moisture supply modes of the root system of cultivated crops in the context of global climate change, it is necessary to improve the methods and technical means of tillage, the use of which is aimed at accumulating productive moisture in the place of its fallout during excess precipitation and ensuring access to it for the root system of plants in their long absence. The purpose of this study is to build empirical models of moisture transfer within the root layer of the soil to substantiate rational methods of its cultivation aimed at forming an optimal water regime. **Materials and methods.** The soil is a loose layer of earth with numerous pores, and in natural conditions there is always a temperature difference between its upper and lower horizons. The temperature difference inside the capillary channels forms an electric field E in the soil solution, which initiates the flow of soil moisture q towards lower temperatures. To reduce the moisture deficit in the root zone, it is necessary to reduce the temperature difference along its depth by creating a loose structure of the upper soil layer. In order to determine the internal structure and degree of heat transfer between soil horizons, a technique for constructing regression equations obtained by statistical dynamics methods was used. To obtain patterns of soil moisture movement depending on tillage methods of field experimental studies were conducted on potato plantings. To obtain empirical models of heat and moisture transfer, the main parameters of the soil state were recorded using an autonomous measuring complex. **Results.** As a result of conducting experimental studies and statistical processing of the obtained random processes, the coefficients of linear regression equations were calculated, as well as the squares of the correlation coefficient for empirical models of heat and moisture transfer between soil horizons with various methods of inter-row cultivation of potato plantings, which made it possible to assess the influence of soil cultivation methods on the moisture supply regime of plants. **Conclusions.** Based on the analysis of the results of scientific research, it is possible to conclude that it is possible to predict the soil temperature in different layers. The obtained regression models of moisture transfer for soil layers with a predominance of capillary channels have a high degree of identity when described by linear equations. Using the parameters of the obtained empirical models, it is possible to predict the soil moisture in the underlying layers of the soil horizon based on the measurement of this process at the upper boundary of the studied layer.

Keywords: water regime of soil, methods of tillage, models of heat and moisture transfer, tillage units.

Citation. Kalinin A. B., Smelik V. A., Teplinsky I. Z., Fomin S. D., Yinjiang Jia, Rui Gao. Management of moisture supply regimes for agricultural crops based on the use of an empirical model of soil heat and moisture transfer. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 426-436 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-48.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.319

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ТЕПЛО- ВЛАГОПЕРЕНОСА

¹Калинин А. Б., доктор технических наук

¹Смелик В. А., доктор технических наук

¹Теплинский И. З., кандидат технических наук

²Фомин С. Д., доктор технических наук

³Yinjiang Jia, кандидат технических наук

³Rui Gao, кандидат технических наук

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

³Северо-Восточный сельскохозяйственный университет

г. Харбин, Китайская народная республика

Актуальность. В настоящее время стабильность производства сельскохозяйственных культур предопределяется уровнем влагообеспечения растений, который в богарном земледелии зависит от уровня и равномерности выпадающих осадков, а на орошаемых землях – от интенсивности полива. Широкое применение энергонасыщенной техники в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур усиливает негативные последствия глобальных климатических изменений, создавая переуплотненные зоны в корнеобитаемом слое, затрудняющие перемещение влаги внутри почвы. Для управления режимами влагообеспечения корневой системы возделываемых культур в условиях глобальных климатических изменений требуется совершенствовать приемы и технические средства обработки почвы, применение которых направлено на накопление продуктивной влаги в месте ее выпадения при избытке осадков и обеспечения доступа к ней корневой систе-

мы растений при длительном их отсутствии. Целью настоящего исследования является построение эмпирических моделей влагопереноса внутри корнеобитаемого слоя почвы для обоснования рациональных приемов ее обработки, направленных на формирование оптимального водного режима. Почва является рыхлым слоем земли с многочисленными порами, а в естественных условиях всегда отмечается разница температур между ее верхним и нижними горизонтами. Перепад температур внутри капиллярных каналов формирует в почвенном растворе электрическое поле E , которое, инициирует поток почвенной влаги q в сторону более низких температур. Для снижения дефицита влаги в корнеобитаемом слое необходимо снизить перепад температур по его глубине за счет создания рыхлой структуры верхнего слоя почвы. С целью определения внутренней структуры и степени теплопередачи между почвенными горизонтами использовалась методика построения уравнений регрессии, полученных методами статистической динамики. Для получения закономерностей движения почвенной влаги в зависимости от технологических приемов обработки почвы были проведены полевые экспериментальные исследования на посадках картофеля. Для получения эмпирических моделей тепло- и влагопереноса выполнялась регистрации основных параметров почвенного состояния с помощью автономного измерительного комплекса. **Результаты исследований.** В результате проведения экспериментальных исследований и проведения статистической обработки полученных случайных процессов были рассчитаны коэффициенты линейных уравнений регрессии, а также квадраты коэффициента корреляции для эмпирических моделей тепло- и влагопередачи между почвенными горизонтами при различных способах проведения междурядной обработки посадок картофеля, которые позволили оценить влияние приемов обработки почвы на режим влагообеспечения растений. **Выводы.** На основании анализа результатов проведения научных исследований можно сделать вывод о возможности прогнозирования температуры почвы в различных слоях. Полученные регрессионные модели влагопереноса для почвенных слоев с преобладанием капиллярных каналов имеют высокую степень идентичности при их описании линейными уравнениями. Используя параметры полученных эмпирических моделей, можно делать прогноз влажности почвы в нижележащих слоях почвенного горизонта на основании измерения данного процесса на верхней границе исследуемого слоя.

Ключевые слова: водный режим почвы, приемы обработки почвы, модели тепло-влагопереноса, почвообрабатывающие агрегаты.

Цитирование. Калинин А. Б., Смелик В. А., Теплинский И. З., Фомин С. Д., Yinjiang Jia, Rui Gao Управление режимами влагообеспечения сельскохозяйственных культур на основе использования эмпирической модели внутрипочвенного тепло-влагопереноса. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 426-436. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-48.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Влага является одним из ключевых факторов получения стабильного урожая сельскохозяйственных культур. Глобальные климатические изменения привели к заметному ухудшению влагообеспечения растений вследствие повышения среднегодовой температуры воздуха и высокой неравномерности выпадения осадков в период вегетации. Так, исследования климата в Центральном и Северо-Западном регионах России, проведенные на основе анализа результатов погодных наблюдений, показали, что вследствие глобальных климатических изменений в европейской части РФ за последние 120 лет среднегодовая температура повысилась на 3,5 °C (рисунок 1) [1], а количество осадков, выпавших в период вегетации возделываемых культур, имеет тенденцию к увеличению (рисунок 2) [2]. При этом количество дней с осадками за это же время уменьшается. Это позволяет сделать вывод о высокой неравномерности поступления влаги в корнеобитаемый слой почвы, высокой вероятности возникновения эрозионных процессов, происходящих при выпадении осадков ливневого характера. Широкое применение энергонасыщенной техники в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур усиливает негативные последствия глобальных климатических изменений, создавая переуплотненные зоны в корнеобитаемом слое, затрудняющие перемещение влаги внутри почвы [3]. Для устранения возникающих зон переуплотнения требуется выполнять дополнительную энергозатратную обработку почвы чизельными орудиями на глубину более 40 см [4].

Для управления режимами влагообеспечения корневой системы возделываемых культур в условиях глобальных климатических изменений требуется совершенствовать приемы и технические средства обработки почвы, применение которых направлено на накопление продуктивной влаги в месте ее выпадения при избытке осадков и обеспечения доступа к ней кор-

невой системы растений при длительном их отсутствии. С целью рационального управления режимами влагообеспечения необходимо использовать природоподобные технологические приемы, основанные на закономерности движения влаги внутри почвы.

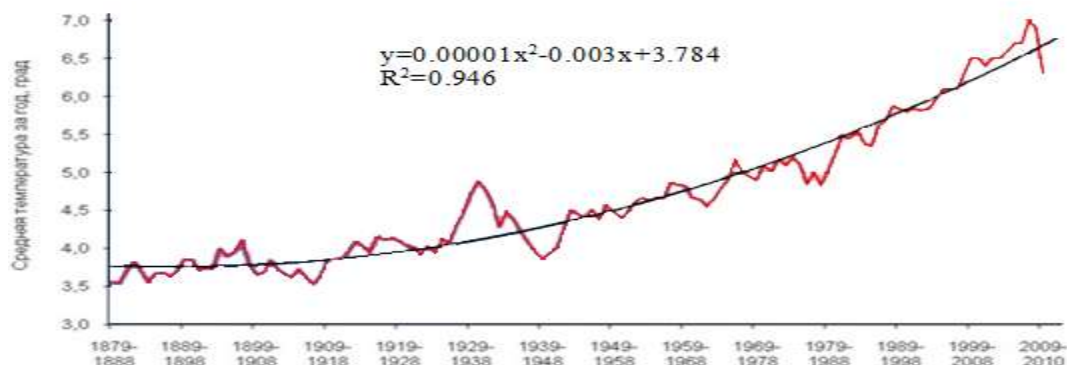


Рисунок 1 – Тренд годовых температур воздуха по скользящим десятилетиям 1879-2009 гг.
Figure 1 – Trend of annual air temperatures by sliding decades 1879-2009

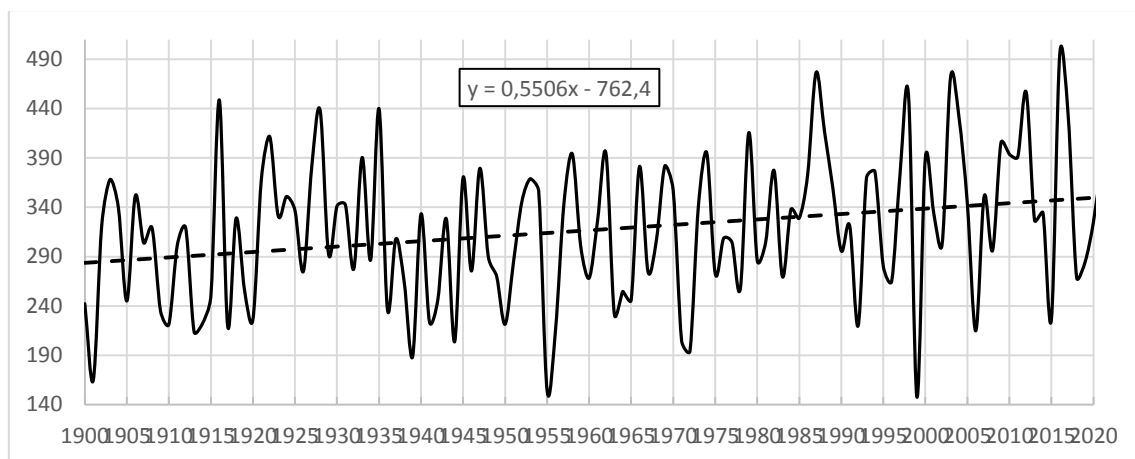


Рисунок 2 – Динамика изменения суммарного количества осадков в Северо-Западном регионе в период вегетации возделываемых культур
Figure 2 – Dynamics of changes in the total amount of precipitation in the North-West region during the vegetation period of cultivated crops

Целью настоящего исследования является построение эмпирических моделей влагопереноса внутри корнеобитаемого слоя почвы для обоснования рациональных приемов ее обработки, направленных на формирование оптимального водного режима.

Материалы и методы. Почва является рыхлым слоем земли с многочисленными порами, а ее твердая часть состоит из органических и минеральных соединений. При этом в естественных условиях всегда отмечается разница температур между ее верхним и нижними горизонтами, так как почва обладает определенными свойствами теплопроводности, за счет чего тепловая энергия переносится из теплых слоев в зону с более низкой температурой [5]. Поэтому ее можно отнести к анизотермическим капиллярным системам, где капиллярные каналы заполнены влагой, которая при определенном содержании в ней внутрипочвенных солей представляет собой почвенный раствор. Как правило, поры и капилляры пронизывают почвенный массив преимущественно в вертикальном направлении, а почвенный раствор внутри них имеет определенную степень мобильности [6].

Из физики твердых тел известно, что их стенки имеют определенный электрический потенциал ϕ , величина которого зависит от температуры T на их поверхности (рисунок 3) [7]. Капилляры имеют две близко расположенные стенки и при возникновении разницы температур по их длине $T_{II} > T_I$ в зависимости от глубины электрический потенциал стенок канала также будет иметь различные значения. Величина электрического потенциала прямо пропорциональна температуре стенки, поэтому стенки с более низкой температурой

имеют меньший электрический заряд. На определенном расстоянии от стенок каналов возникает зона равного электрического потенциала (рисунок 4). За границей этой зоны в капиллярном канале образуется естественное электрическое поле E , направленного из теплого участка в более холодный. Под действием этого электрического поля внутри капилляра ионы солей почвенного раствора служат переносчиком электричества, выполняя направленное движение в зону низких температур. Движущиеся ионы втягивают в направленное движение молекулы воды.

Таким образом, перепад температур внутри капиллярных каналов формирует в почвенном растворе электрическое поле E , которое, в свою очередь инициирует поток почвенной влаги q в сторону более низких температур (рисунок 5).

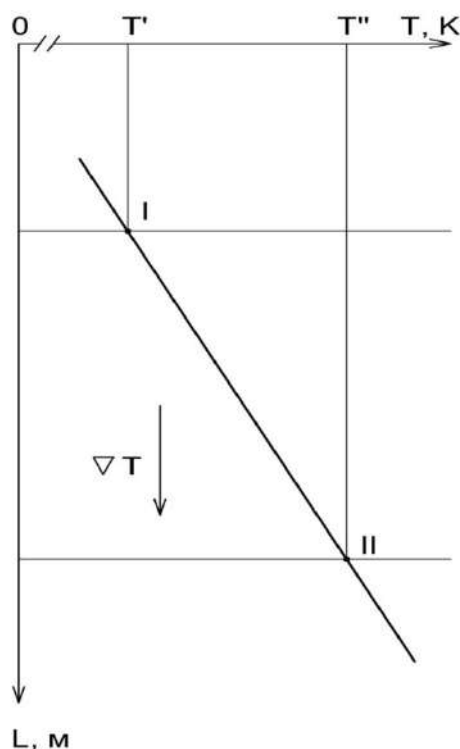


Рисунок 3 – Распределение электрического потенциала у стенок твердого тела
Figure 3 – Distribution of electric potential at the walls of a solid

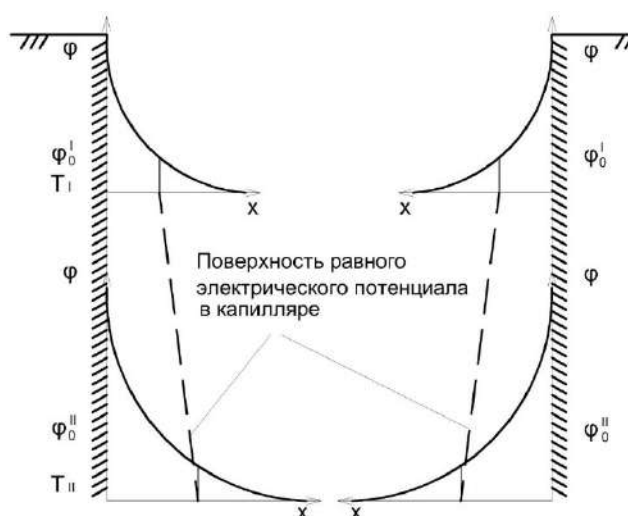


Рисунок 4 – Распределение электрических потенциалов внутри капиллярного канала
Figure 4 – Distribution of electric potentials inside the capillary channel

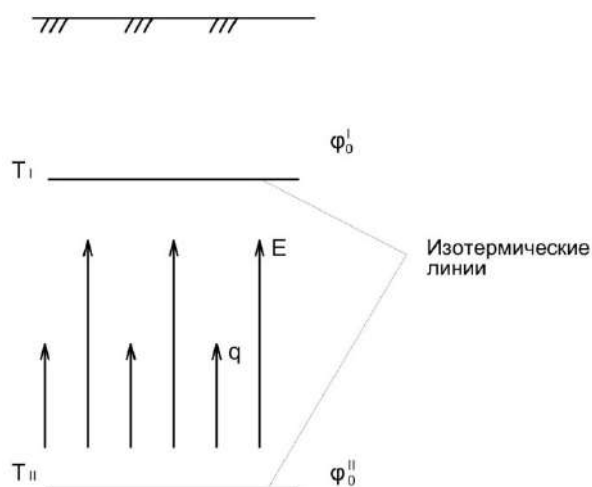


Рисунок 5 – Схема электрического поля E и вектор движения почвенной влаги q
Figure 5 – Diagram of the electric field E and the vector of movement of soil moisture q

Из схемы движения почвенной влаги следует, что направление перемещения почвенного раствора внутри капилляров с различной температурой стенок по их длине от зависит от перепада температур в почвенном массиве. При этом интенсивность движения влаги определяется абсолютным значением градиента температур, а также объемом капилляров внутри почвенного массива. Ввиду того, что глобальные климатические изменения привели к повышению температуры верхних горизонтов корнеобитаемого слоя почвы, то закономерности влагопереноса под действием градиента температур способствуют более интенсивному оттоку почвенного раствора в глубокие почвенные горизонты за пределы корнеобитаемой зоны. Это приводит к усилению негативных последствий глобального потепления, т.к. снижает доступность влаги для возделываемых сельскохозяйственных культур.

Очевидно, что для снижения дефицита влаги в корнеобитаемом слое необходимо снизить перепад температур по его глубине за счет создания рыхлой структуры верхнего слоя почвы, обладающего хорошими термоизоляционными свойствами. Это можно достичь путем увеличения содержания в нем доли органического материала (органические удобрения, мульча пожнивных остатков, покровных и сидеральных культур), а также путем создания значительного объема воздушных пор, наличие которых формирует слой с низким уровнем теплопроводности. Поддержание такого состояния в течение всего вегетационного периода обеспечивает минимальный перепад температур между верхним и нижними почвенными горизонтами, что способствует более стабильному снабжению корневой системы возделываемых культур почвенным раствором, что существенно снижает риски потерь урожая при отсутствии осадков.

С целью определения внутренней структуры и степени теплопередачи между почвенными горизонтами использовалась методика построения уравнений регрессии, полученных методами статистической динамики [8]. На основе статистической обработки результатов процессов изменения температуры были получены уравнения регрессии теплопередачи между почвенными горизонтами и коэффициенты взаимной корреляции, которые определяют степень их взаимной связи. Нами было предложено описать данные модели линейными уравнениями регрессии в виде выражения:

$$Y = a \cdot X + b.$$



Рисунок 6 – Пропашной культиватор-глубокорыхлитель с пассивными рабочими органами
Figure 6 – Inter-row cultivator-subsoiler with passive working tines

Для получения закономерностей движения почвенной влаги в зависимости от технологических приемов обработки почвы были проведены полевые экспериментальные исследования на посадках картофеля, где проводились сравнительные испытания пропашных культиваторов-гребнеобразователей, которые в соответствии с требованиями технологии выполняли формирование полнообъемных гребней после прохода картофелепоса-

дочной машины. Исследования выполнялись при сравнении результатов работы пропашного культиватора-глубокорыхлителя, оснащенного пассивными рабочими органами (рисунок 6) и фрезерного пропашного культиватора-гребнеобразователя (рисунок 7) [9]. В первом случае гребни формировались из более крупных почвенных агрегатов со значительным объемом воздушных пор, обладающих низкой теплопроводностью. Во втором случае получались более плотные гребни, состоящие из мелких почвенных элементов, плотно прилегающих друг к другу. При таком плотном сложении гребня отмечается более интенсивная теплопередача между почвенными горизонтами.



Рисунок 7 – Пропашной фрезерный культиватор-гребнеобразователь с активными рабочими органами
Figure 7 – Inter-row rotary cultivator-ridge former with active knives



Рисунок 8 – Измерительный комплекс для регистрации температуры наружного воздуха, уровня осадков, температуры и влажности почвы с шагом 10 см на глубину 90 см:
A – модем; B – солнечная батарея; C – осадкомер; D – почвенный зонд для послойного измерения температуры и влажности почвы

Figure 8 – Measuring complex for recording outdoor air temperature, precipitation level, soil temperature and moisture with a step of 10 cm to a depth of 90 cm: A – modem; B – solar battery; C – precipitation gauge; D – soil probe for layer-by-layer measurement of soil temperature and moisture

Для получения эмпирических моделей тепло- и влагопереноса выполнялась регистрация таких показателей: уровень осадков, температура наружного воздуха, температура и влажность почвы по горизонтам с шагом 10 см на глубину до 90 см, что соответствует глубине распространения основной массы корневой системы большинства возделываемых культур. С этой целью использовался автономный измерительный комплекс (рисунок 8). Специальный почвенный зонд D погружался в почву на глубину 90 см. Все данные фиксировались каждые 15 минут и сохранялись во внутренней памяти. Ежедневно собираемая информация отправлялась на сервер сбора данных через GSM-модем А в автоматическом режиме. Аккумуляторная батарея и солнечная панель В обеспечивали полную автономность работы измерительного комплекса.

Результаты исследований. В результате проведения экспериментальных исследований был получен значительный объем данных о динамике изменения погодных условий, послойного изменения температуры почвы и ее влажности в период вегетации картофеля. На основании статистической обработки полученных случайных процессов были рассчитаны коэффициенты линейных уравнений регрессии, а также квадраты коэффициента корреляции для моделей тепло- и влагопередачи между почвенными горизонтами при различных способах проведения междурядной обработки посадок картофеля.

Эмпирические модели были получены для почвенных горизонтов: 0-10 см; 10-40 см и 40-70 см. Коэффициенты уравнений регрессии для указанных моделей выполнялась с определенным временным лагом выходного процесса относительно входного из-за инерционности процесса передачи тепловой энергии между почвенными горизонтами. Временной лаг между почвенными горизонтами 0-10 см и 10-40 см составлял 6 часов, между горизонтом 30-70 см – 30 часов. В таблице 1 представлены коэффициенты уравнений регрессии и квадратов коэффициента корреляции для моделей теплопередачи между почвенными горизонтами при различных способах проведения междурядной обработки посадок картофеля.

Таблица 1 – Коэффициенты уравнений регрессии для моделей теплопередачи между горизонтами корнеобитаемого слоя

Table 1 – Coefficients of regression equations for heat transfer models between the horizons of the root layer

Показатель уравнения регрессии / Regression equation measure	Почвенный горизонт / Soil layer		
	0-10 см	10-40 см	40-70 см
Фрезерный пропашной культиватор / Milling row crop cultivator			
<i>a</i>	0,42	0,30	0,64
<i>b</i>	11,81	11,80	4,87
<i>R</i>	0,86	0,78	0,96
Пропашной культиватор-глубокорыхлитель / Row cultivator-subsoiler			
<i>a</i>	0,34	0,34	0,63
<i>b</i>	12,77	10,89	4,80
<i>R</i>	0,85	0,86	0,93

Анализ таблицы 1 показал, что входные и выходные процессы моделей теплопереноса между верхними и нижними почвенными горизонтами имеют более высокие значения коэффициентов взаимной корреляции, что говорит о линейной зависимости. Более низкий коэффициент корреляции в модели теплопереноса для верхнего слоя почвы после прохода культиватора с пассивными рабочими органами свидетельствует о том, что рыхлая структура почвы внутри гребней с содержанием большого числа воздуха формирует термоизолирующий слой, который в меньшей степени передает температуру наружного воздуха на нижележащие слои почвенного горизонта.

В таблице 2 представлены коэффициенты уравнений регрессии и коэффициенты корреляции для моделей влагопереноса внутри почвенных слоев при различных способах проведения междурядной обработки посадок картофеля. Эти элементарные модели получены для каждого 10-сантиметрового слоя на глубину до 90 см.

Анализ таблицы 2 показал, что структура почвы во многом определяет структуру моделей влагопереноса внутри исследуемых почвенных горизонтов. Для рыхлой структуры почвы с большим содержанием крупных пор, насыщенных воздухом, связь между процессом важности на верхней границе горизонта $W_{i-1}(t)$ и процессом влажности на нижней его

границе $W_i(t)$ является довольно слабой, или вообще отсутствует. В более плотной почве с высоким содержанием капиллярных каналов модели влагопереноса в большей степени адекватности описывают закономерности протекания внутрипочвенных процессов, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов взаимной корреляции для слоев, расположенных ниже глубины обработки почвообрабатывающих орудий (20 см и глубже). На глубине более 70 см также отмечается отсутствие четкой взаимосвязи между входными и выходными процессами моделей влагопереноса. Это связано с наличием гравийной прослойки на этой глубине на переходе почвенного горизонта к материнской породе.

Таблица 2 – Коэффициенты уравнений регрессии для моделей влагопереноса в различных горизонтах корнеобитаемого слоя

Table 2 – Coefficients of regression equations for models of moisture transport in different layer of the root layer

Показатель уравнения регрессии / Regression equation measure	Почвенный горизонт / Soil layer							
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Фрезерный пропашной культиватор / Milling row crop cultivator								
<i>a</i>	0,97	1,61	1,15	0,22	0,33	0,002	0,72	1,97
<i>b</i>	11,89	5,50	0,31	43,45	38,07	58,00	9,41	-61,2
<i>R</i>	0,60	0,94	0,95	0,97	0,99	0,01	0,38	0,86
Пропашной культиватор предлагаемой конструкции / Row cultivator of the proposed design								
<i>a</i>	0,95	0,90	0,97	0,72	0,34	0,27	-0,03	0,33
<i>b</i>	11,79	5,26	6,79	14,09	36,75	44,11	59,90	37,44
<i>R</i>	0,76	0,83	0,99	0,99	0,99	0,95	0,12	0,67

Необходимо также отметить, что гладкая поверхность гребней, сформированных фрезерным пропашным культиватором, значительно снижает поступление влаги в их верхнюю часть. Поэтому отмечается низкий коэффициент корреляции для модели влагопереноса в слое 10-20 см.

Ввиду того, что уровень осадков и использование запасов влаги растениями не компенсирует отток влаги из нижних слоев корнеобитаемого горизонта в нижележащие участки профиля почвы, то некоторые коэффициенты уравнений регрессии для модели влагопереноса в слое 80-90 см принимают отрицательные значения.

Выводы. На основании анализа результатов проведения научных исследований можно сделать вывод о возможности прогнозирования температуры почвы в различных слоях, используя полученные уравнения эмпирических моделей теплопереноса. При этом отмечаются достаточно высокая степень достоверности за счет того, квадраты коэффициентов корреляции находятся в диапазоне 0,85...0,95. Кроме этого, полученные регрессионные модели влагопереноса для почвенных слоев с преобладанием капиллярных каналов имеют высокую степень идентичности при их описании линейными уравнениями. Используя параметры полученных эмпирических моделей, можно делать прогноз влажности почвы в нижележащих слоях почвенного горизонта на основании измерения данного процесса на верхней границе исследуемого слоя. При этом толщина оцениваемого слоя может достигать 50-60 см. На основе данных динамики изменения влажности почвы в верхнем почвенном горизонте можно делать прогноз уровня влагообеспечения растений в зависимости от вида обработки почвы и глубины её проведения.

Conclusions. Based on the analysis of the results of scientific research, it is possible to conclude that it is possible to predict the soil temperature in different layers using the obtained equations of empirical heat transfer models. At the same time a fairly high degree of reliability is noted due to the fact that the squares of the correlation coefficients are in the range of 0.85...0.85. In addition, the obtained regression models of moisture transfer for soil layers with a predominance of capillary channels have a high degree of identity when described by linear equations. Using the parameters of the obtained empirical models it is possible to predict the soil moisture in the underlying layers of the soil horizon based on measuring this process at the upper boundary of the studied layer. In this case, the thickness of the assessed layer can reach 50-60 cm. Based on the data on the dynamics of changes in soil moisture in the upper soil horizon it is possible to predict the level of moisture supply to plants depending on the type of tillage and the depth of its implementation.

Библиографический список

1. Ивашова О. Н., Гаспарян И. Н. и др. Возделывание двух урожаев в условиях Московской области. М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2021. 132 с.

2. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Немцов И. С. Снижение рисков влияния погодных условий на управление продукционным процессом картофеля в интенсивных технологиях. Инновационное развитие агро-промышленного, химического, лесного комплексов и рациональное природопользование: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2022. С. 44-48.

3. Калинин А. Б. и др. Снижение экологических рисков применения мобильных энергонасыщенных агрегатов при возделывании семенного картофеля с учетом закономерности тепло и влагопереноса внутри корнеобитаемого слоя почвы. Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 132-139.

4. Теплинский И. З., Калинин А. Б. Алгоритм настройки чизельных плугов на глубину обработки. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1997. № 2. С. 22-24.

5. Shengyun Chen, Xiangfei Li, et al. Soil thermal regime alteration under experimental warming in permafrost regions of the central Tibetan Plateau. Geoderma. 2020. V. 372. P. 114397.

6. Or D., Leij F.J., Snyder V., Ghezzehei T. A. Stochastic model for post tillage soil pore space evolution. Water Resour. Res. 2000. No 36. P. 16411652.

7. Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: научные труды ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.

8. Лурье А. Б. и др. Сельскохозяйственные машины: Машины для обработки почвы, посева, посадки, внесения удобрений и химической защиты растений. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 1998. 365 с.

9. Alimova F. A., Primkulov B. S. The Analysis of the Technological Process of Row Crop Cultivator using the Laws of Classical Mathematics. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2020. V. 9. I. 3.

10. Smelik V. A., et al. Justification of the Parameters of the Press Roller of Haulm Harvester when Cultivation Potato. Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences. 2023. Pp. 1-7.

References

1. Ivashova O. N., Gasparyan I. N., et al. Cultivation of two crops in the conditions of the Moscow region. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 2021. 132 p.

2. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Nemtsov I. S. Reducing the Risks of Weather Conditions Influence on the Management of the Potato Production Process in Intensive Technologies. Innovative Development of Agro-Industrial, Chemical, Forest Complexes and Rational Nature Management: Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Veliky Novgorod: Yaroslav the Wise Novgorod State University, 2022. Pp. 44-48.

3. Kalinin A. B., et al. Reducing the Environmental Risks of the Use of Mobile Energy-Saturated Units in the Cultivation of Seed Potatoes, Taking into Account the Regularity of Heat and Moisture Transfer within the Root Layer of the Soil. Agrarian Scientific Journal. 2023. № 5. Pp. 132-139.

4. Teplinsky I. Z., Kalinin A. B. Algorithm for Tuning Chisel Ploughs to the Processing Depth. Tractors and agricultural machines. 1997. № 2. Pp. 22-24.

5. Shengyun Chen, Xiangfei Li, et al. Soil thermal regime alteration under experimental warming in permafrost regions of the central Tibetan Plateau. Geoderma. 2020. V. 372. P. 114397.

6. Or D., Leij F.J., Snyder V., Ghezzehei T. A. Stochastic model for post tillage soil pore space evolution. Water Resour. Res. 2000. No 36. P. 16411652.

7. Dydyshko P. I. Earth canvas of the railway track. Reference book: scientific works of JSC "VNIIZhT". Moscow, Intekst Publ., 2014. 416 p.

8. Agricultural machines: Machines for tillage, sowing, planting, fertilization and chemical plant protection. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University, 1998. 365 p.

9. Alimova F. A., Primkulov B. S. The Analysis of the Technological Process of Row Crop Cultivator using the Laws of Classical Mathematics. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2020. V. 9. I. 3.

10. Smelik V. A., et al. Justification of the Parameters of the Press Roller of Haulm Harvester when Cultivation Potato. Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences. 2023. Pp. 1-7.

Информация об авторах

Калинин Андрей Борисович, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6301-5758>, e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: smelik_va@mail.ru

Теплинский Игорь Зиновьевич, кандидат технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: teplinskij.igor.zinovevich@gmail.com

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Yinjiang Jia, кандидат технических наук, профессор, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет (Китайская народная республика, 1500306, г. Харбин), e-mail: jiayinjiang@126.com

Rui Gao, кандидат технических наук, доцент, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет (Китайская народная республика, 1500306, г. Харбин), e-mail: rgao@neau.edu.cn

Authors' Information

Kalinin Andrey Borisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe shosse, 2A), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6301-5758>, e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Smelik Viktor Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe sh., 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: smelik_va@mail.ru

Teplinsky Igor Zinovievich, Candidate of Engineering Sciences, Professor, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe shosse, 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: teplinskij.igor.zinovevich@gmail.com

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Center for International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Yinjiang Jia, Candidate of Engineering Sciences, Professor, Northeast Agricultural University (People's Republic of China, 150030b, Harbin), e-mail: jiayinjiang@126.com

Rui Gao, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor Northeast Agricultural University (People's Republic of China, 150030b, Harbin), e-mail: rgao@neau.edu.cn

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-49

DYNAMICS OF CHANGES IN THE PROPERTIES OF THE SEED MASS OF THE KOCHIA PROSTRATA

¹Lebedev A. T., ¹Eviev V. A., ¹Seregin A. A., ²Lebedev P. A., ¹Abushinov O. A.,
¹Muchaev A. B., ¹Vaskiev O. D.

¹B. B. Gorodovikov Kalmyk State University
Elista, Republic of Kalmykia, Russian Federation

²Stavropol State Agrarian University
Stavropol, Russian Federation

Corresponding author E-mail: aviev@yandex.ru

Received 21.03.2025

Submitted 25.04.2025

The research was conducted within the framework of the "Priority 2030" program (Agreement No. 075-15-2024-274 dated 02/05/2024) under the "New Faces of KalmSU" project of the grant financing program for 2024-2025 (Protocol of the Academic Council of KalmSU No. 24 dated 06/14/2024).

Abstract

Introduction. The study addresses the dynamics of changes in the bulk density of the seed mass of *Kochia prostrata*, as understanding the patterns of this process enables recommendations for schematic proposals and design solutions when developing new machines for sowing difficult-to-flow seeds of arid fodder crops. **Materials and research methods.** The object of this study was the seed mass of *Kochia prostrata* harvested in 2024. The research was conducted in the Laboratory of Arid Fodder Crops at the Faculty of Engineering and Technology of B. B. Gorodovikov Kalmyk State University. To establish the patterns and dynamics of changes in the properties of the seed mass of *Kochia*, a methodology and an original laboratory-measuring complex were developed. This complex included a JT-2 vibrating table, which allows smooth amplitude adjustment across two frequency modes of the working platform's oscillations; a vibrometer for calibration and monitoring of vibration displacements, vibration velocity, and vibration acceleration of the working platform; and three original measuring containers with nominal volumes of 1 L, 1.5 L, and 2 L. Experimental studies were conducted in accordance with standard methodologies and simulated real production processes, such as the movement of a seeding unit. The research aimed to determine the intensity of changes in the bulk density of the seed mass of *Kochia* depending on the magnitude and duration of external force impacts. Considering the design features of the JT-2 vibrating table, eight modes of changing external force impacts were modeled and calibrated based on oscillation amplitude, vibration velocity, and vibration acceleration. **Results and conclusions.** The experiments revealed that the seed mass contains not only *Kochia* seeds but also twigs (crushed stem fragments), seed husks, hairs, membranous winglets, cotton (woody fibrous fragments of stems), and large and small impurities (dust and sand), all of which significantly affect the flowability and mobility of the seed mass particles. The average particle size was 1.554 mm. The initial bulk density averaged $\gamma = 152 \text{ kg/m}^3$, the limiting bulk density was $\gamma_p = 255 \text{ kg/m}^3$, and the mechanical compression compaction coefficient was $K_{up} = 1.68$. The obtained results form the core of the scientific substantiation of methods for engineering and technological modernization, development, production, and research of new experimental prototypes of working units for mechanized sowing of difficult-to-flow seeds of various phytomeliorant grasses.

Keywords: hard-flowing seeds, sowing aggregates, arid fodder crops, pasture productivity.

Citation. Lebedev A. T., Eviev V. A., Seregin A. A., Lebedev P. A., Abushinov O. A., Muchaev A. B., Vaskiev O. D. Dynamics of changes in the properties of the seed mass of the *Kochia prostrata*. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 436-448 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-49.

Author contributions. The authors of this study were directly involved in formulating the problem, planning the research, conducting analyses, presenting conclusions, and preparing recommendations for production. The authors reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.2

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ СЕМЕННОГО ВОРОХА ПРУТНЯКА ПРОСТЕРТОГО¹Лебедев А. Т., доктор технических наук, профессор¹Эвиев В. А., доктор технических наук, профессор¹Серегин А. А., доктор технических наук, профессор²Лебедев П. А., кандидат технических наук, доцент¹Абушинов О. А., старший преподаватель¹Мучаев А. Б., аспирант¹Васькиев О. Д., магистрант¹ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Городовикова»
г. Элиста, Калмыкия, Российская Федерация²ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»
г. Ставрополь, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках программы «Приоритет 2030» (Соглашение № 075-15-2024-274 от 05.02.2024 г.) по проекту «Новые лица КалмГУ» программы грантового финансирования на 2024-2025 гг. (Протокол Учёного Совета КалмГУ № 24 от 14.06.2024).

Актуальность. Работа посвящена вопросу динамичности изменения насыпной плотности семенного вороха прутняка простёртого, поскольку знание закономерностей этого процесса позволяет рекомендовать схмотехнические предложения и конструктивные решения при проектировании новых машин для посева трудносыпучих семян аридных кормовых культур. **Материалы и методы исследований.** Объектом в данном исследовании являлся семенной ворох прутняка простёртого, урожая 2024 года. Исследования проводились в лаборатории аридных кормовых культур инженерно-технологического факультета КалмГУ имени Б. Б. Городовикова. Для установления закономерностей и динамики изменения свойств семенного вороха прутняка была разработана методика и оригинальный лабораторно-измерительный комплекс, состоящий из вибрационного столика JT-2, который позволяет осуществлять плавное регулирование амплитуды на двух режимах частоты колебаний рабочей платформы столика; виброметра для проведения тарировки и контроля виброперемещений, виброскорости и виброускорения рабочей платформы; трёх оригинальных измерительных емкостей с номинальным объемом 1 л, 1,5 л и 2 л. Экспериментальные исследования проводились в соответствии со стандартными методиками и моделировали реальные производственные процессы, например, движение посевного агрегата. Целью исследования являлось установление интенсивности изменения насыпной плотности семенного вороха прутняка в зависимости от величины и продолжительности внешних силовых воздействий. Учитывая конструктивные особенности вибростоллика JT-2, смоделировали и осуществили тарировку восьми режимов изменения внешних силовых воздействий в зависимости от амплитуды колебаний, виброскорости и виброускорения. **Результаты исследований и выводы.** Экспериментально определено, что в семенном ворохе наряду с семенами прутняка присутствуют веточки (измельченные фрагменты стеблей), оболочка семян, ворсинки, пленчатые крылатки, вата (древесноволокнистые фрагменты стеблей), крупные и мелкие примеси (пыль и песок), которые оказывают существенное влияние на сыпучесть и подвижность частиц семенного вороха. Средний размер частиц составил 1,554 мм. Среднее значение исходной насыпной плотности составило $\gamma = 152 \text{ кг/м}^3$, предельное значение насыпной плотности - $\gamma_n = 255 \text{ кг/м}^3$, коэффициент уплотнения механическим сжатием $K_{\text{пл}}$ равен 1,68. Полученные результаты являются основной частью научного обоснования способов инженерно-технологической модернизации, разработки, изготовления и исследования новых экспериментальных образцов рабочих органов для механизированного посева трудносыпучих семян различных трав – фитомелиорантов.

Ключевые слова: трудносыпучие семена, посевные агрегаты, аридные кормовые культуры, продуктивность пастбищ.

Цитирование. Лебедев А. Т., Эвиев В. А., Серегин А. А., Лебедев П. А., Абушинов О. А., Мучаев А. Б., Васькиев О. Д. Динамика изменения свойств семенного вороха прутняка простёртого. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 436-448. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-49.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке проблемы, планировании исследования, анализе, в изложении выводов и подготовке предложений производству. Авторы настоящей статьи изучили и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В Калмыкии нарастает остро противоречивая проблема между ростом численности поголовья животных, необходимого для обеспечения населения продуктами животного происхождения, и дефицитом кормовых ресурсов, потребление которых животными еще больше усиливает деградирование пастбищных угодий и приводит к опустыниванию территорий [1, 2]. Эта проблема является транснациональной [1-9].

По материалам космического зондирования, выполненных ФНЦ Агроэкологии в 2024 году [3], из 6418 тыс. га обследованных площадей кормовых угодий на территории Республики Калмыкия всего лишь 13,4 % площадей отнесены к категории несбитых и слабосбитых пастбищ, среднесбитые составили 58,2 %, а 28,4 % являются сильносбитыми и очень сильносбитыми угодьями на площади 1825,6 тыс. га. Особенно остро стоит эта проблема в Лаганском и Черноземельском районах, где пастбища третьей категории составляют 40 % и 35 %, а первой – всего лишь 5 % и 7 % соответственно. Этими же исследованиями установлено, что на территории республики площадь открытых песков на 01.01.2023 г. составляет 116,6 тыс. га.

По данным КалмНИИСХ, средняя продуктивность пастбищных угодий за последние годы значительно снизилась, до 0,8-1 ц/га. Эта кормоемкость позволит обеспечить всего лишь 1035 тыс. условных голов овец, что более чем в 3 раза меньше имеющегося в республике поголовья [4, 5]. Существующие темпы восстановления деградированных угодий и восполнения кормовой продуктивности пастбищ низкие, за 2024 год восстановлено всего лишь 4,2 тыс. га. Прогнозные расчеты, выполненные на основе существующих нормативов, показывают, что для восстановления деградированных кормовых угодий (2000 тыс. га) в ближайшие 10 лет потребуется 6000 т семян трав фитомелиорантов, 2,0 млрд штук саженцев, более 300 единиц тракторов, сеялок, посадочных машин (каждого наименования), другой сельско- и лесохозяйственной техники, значительные трудовые ресурсы при годовой загрузке порядка 1000 часов. Критичность ситуации усиливается тем, что значительная часть имеющихся посевных агрегатов не адаптирована для посева трав фитомелиорантов, семенной материал которых, из-за ручной его уборки и заготовки, имеет до 30...50 % примесей [10]. Сами семена опущены, а наличие ворсинок, в совокупности с несеменным ворохом, делает их не сыпучими. Данные по гранулометрическому составу и размерным характеристикам частиц семенного вороха требуют уточнения, так как свойства семенного вороха зависят как от видовой принадлежности, места сбора урожая, так и года их уборки. В результате внешних воздействий (толчки, вибрация при движении посевного агрегата) семенной материал резко изменяет свои физико-механические свойства, в первую очередь насыпную плотность, которая увеличивается до 1,63 раз [10]. Это вызывает прекращение высева или забивание высевающего аппарата. Устранение этих неисправностей выполняется вручную при остановке агрегата, что снижает производительность машины, а также значительно увеличивает не только неравномерность посева, но и установленную норму высева до 10...12 кг/га и более. Эти процессы до настоящего времени остаются нерешенными. Требуется научное обоснование способов инженерно-технологической модернизации с целью адаптации рабочих органов с посевным материалом в существующих сеялках, а также разработка, изготовление и исследования новых экспериментальных образцов для механизированного посева различных трав фитомелиорантов с учетом многообразия почвенно-климатических условий, как для создания семеноводческих участков, так и при восстановлении деградированных кормовых угодий.

В основе такого обоснования лежит знание физико-механических свойств семян и семенного вороха прутняка. Поэтому в данном исследовании представлены исследования размерных характеристик частиц различных фракций и динамики изменения свойств семенного вороха прутняка простертого.

Материалы и методы исследований. Прутьяк (кохия простертая), наряду с другими перспективными полукустарниками и полукустарничками, отобран из дикорастущих трав как ценный и высокопитательный экотип и введен в культуру. Качественные и посевные показатели семян этих аридных кормовых культур регламентируются ГОСТ Р 55330-2012.

Объектом в данном исследовании выступает семенной ворох прутняка простертого, урожая 2024 года. Исследования проводились в лаборатории аридных кормовых культур инженерно-технологического факультета КалмГУ имени Б. Б. Городовикова.

Для анализа гранулометрического состава семенного вороха прутняка использовался измерительный комплекс, включающий: электронные весы DL-1002, с ценой деления 0,01 г, погрешностью измерения в 0,1 г и рассеиватель TAGLER РЛ-3 с набором из 12 сит, с диаметром ячеек от 5 до 0,25 мм, которые заканчиваются дном. Для более точного деления образца по фракциям использовались сита 5; 4; 3,5; 3,0; 2,5; 2,0; 1,5 мм, а далее через каждые 0,25 мм до 0 (дно).

Определение формы и размеров частиц семенного вороха выполнены методами микроскопии. Для этого использовался биологический микроскоп Микромед 3. При проведении инструментального анализа была применена оригинальная методика, суть которой заключалась в следующем. На предметный столик микроскопа укладывались сначала миллиметровка стандартного образца, а затем на ней размещались исследуемые образцы, и проводилось их фотографирование. В дальнейшем необходимые размеры семян определялись по полученным фотографиям, учитывая кратность увеличения снимков.

Одним из комплексных показателей физико-механических свойств семенного материала является его насыпная плотность. Ранее выполненные исследования показали, что «... изменение насыпной плотности от воздействия внешних сил некоторых широко распространенных сыпучих материалов (гороха, кукурузы, смеси пшеницы с ячменем и дерти зерновых культур) и семенного вороха кохии простертой, имеют общие закономерности и характер изменения этого показателя для всех исследуемых образцов. Установлено, что насыпная плотность однородных материалов, не содержащих примесей (горох и кукуруза), практически не изменяется, – увеличение до 5 %. Для разнородных материалов и измельченных однородных материалов, имеющих значительную вариацию фракционного состава частиц (смесь пшеницы с ячменем и дерть зерновых культур), насыпная плотность увеличивается на 11...14 % и 19...27 %, соответственно. Для семенного вороха кохии простертой происходит значительное увеличение насыпной плотности на 36...63 %, более чем в 1,6 раза» [10]. Но интенсивность изменения насыпной плотности, сыпучести, подвижности семенного вороха в зависимости от времени, скорости и амплитуды колебаний, сил внешних воздействий, соотношения диаметра и высоты емкости, в которой находятся исследуемые образцы, – не установлены.

Для установления закономерностей и динамики изменения свойств семенного вороха прутняка была разработана методика и оригинальный лабораторно-измерительный комплекс (ЛИК), представленный на рисунке 1.



а) вибростол JT-2; б) виброметр; в) емкости измерительные
Figure 1 – Laboratory-measuring complex:
a) JT-2 vibrating table; b) Vibration Meter; c) measuring containers

В комплекс ЛИК входят: вибрационный столик JT-2, позволяющий осуществлять плавное регулирование амплитуды на двух режимах частоты колебаний рабочей платформы столика; виброметр для проведения тарировки и контроля виброперемещений, виброскорости и виброускорения рабочей платформы; три оригинальные измерительные емкости с номинальным объемом 1 л, 1,5 л и 2 л, условное обозначение V1,0, V1,5 и V2,0, соответственно. Отличием данных емкостей является то, что все они выполнены цилиндрической формы с внутренним диаметром 125 мм, а на внешней стороне диаметрально по образующим цилиндра размещены измерительные шкалы. Емкости при проведении опытов фиксировались на рабочей платформе. Соотношение высоты емкости к диаметру составляют 0,76:1, 1,16:1 и 1,56:1, соответственно. Шкалы позволяют контролировать изменение высоты насыпки семенного вороха прутняка в каждой емкости и определять сразу текущее значение объема прутняка в зависимости от контрольных точек времени испытаний, что устраняет недостатки методики при выполнении исследований, представленных в [10].

Семенной ворох прутняка простертого при теоретическом описании процессов дозирования, смешивания и транспортирования следует рассматривать с позиции многокомпонентных гетерогенных смесей, определяющим свойством которых для их подвижности и сыпучести, является насыпная плотность.

Насыпной плотностью сыпучего материала γ ($\text{кг}/\text{м}^3$) называют массу M (кг) единицы объема V (м^3) этого материала при свободном засыпании в измерительный сосуд. Численное значение можно рассчитать по формуле

$$\gamma = \frac{M}{V}, \quad (1)$$

Представляя объем, занятый материалом в измерительном сосуде, «...через сумму объемов частиц материала $V_{\text{ч}}$, свободного пространства между твердыми частицами $V_{\text{сч}}$, уменьшение объема пустот за счет вибраций $\Delta V_{\text{в}}$ и уменьшение объема пустот за счет прессования $\Delta V_{\text{п}}$, ранее нами» [10] получена зависимость насыпной плотности в следующем виде

$$\gamma = \frac{M}{V_{\text{ч}} + V_{\text{сч}} + \Delta V_{\text{в}} + \Delta V_{\text{п}}}. \quad (2)$$

Исходная насыпная плотность сыпучего материала, который загружается в измерительный сосуд, со временем может увеличиваться как в результате внешних воздействий, так и за счет самопроизвольного уплотнения. Как показывает исследование [10], «...для этих вариантов, при постоянстве массы материала в емкости, увеличение насыпной плотности происходит из-за уменьшения того объема, который занимал материал в исходном состоянии». Насыпная плотность однородного материала (горох, например) увеличивается не более чем на 5 %, а у кохии простертой, урожая 2023 года, на 33...63 %. Уменьшение исходного объема составляет в 1,63 раза. Считаем, что такие изменения происходят из-за специфических особенностей семенного вороха прутняка как многокомпонентной смеси, состоящей из множества разнородных и разноразмерных частиц. В этом случае, формулу для определения исходного объема можно уточнить и представить, в следующем виде

$$V = \Sigma(V_{\text{ч}i} \cdot N_{\text{ч}i}) + V_{\text{сч}} + \Delta V_{\text{в}} + \Delta V_{\text{п}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{ч}i}$ – объем одной частицы i -той фракции, м^3 ; $N_{\text{ч}i}$ – общее количество частиц i -той фракции, шт.

Подставляя уравнение (3) в уравнение (2), окончательно получим

$$\gamma = \frac{M}{\Sigma(V_{\text{ч}i} \cdot N_{\text{ч}i}) + V_{\text{сч}} + \Delta V_{\text{в}} + \Delta V_{\text{п}}}, \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что чем выше разнородность смеси и чем больше в смеси содержится различных по размеру и форме фракций, тем больше диапазон увеличения исходной насыпной плотности и снижения подвижности частиц и сыпучести семенного вороха. Интенсивность нарастания насыпной плотности за счет вибрации и сжатия прессованием зависит от режимов внешнего воздействия, которые в явной форме учитываются изменением $\Delta V_{\text{в}}$ и $\Delta V_{\text{п}}$, а косвенно и первыми членами уравнения (3). Поэтому уравнение (4) в общем виде оценивает динамику изменения насыпной плотности многокомпонентных смесей, таких как семенной ворох прутняка.

Для оценки динамики изменения насыпной плотности однородных сыпучих материалов можно воспользоваться уравнением (5)

$$\gamma = \frac{M}{V_{\text{ч}} + V_{\text{сч}}}, \quad (5)$$

Зависимости динамики изменения насыпной плотности семенного вороха прутняка простертого получены в ходе проведения экспериментальных исследований.

Результаты и их обсуждение. При проведении экспериментов использовалось лабораторное оборудование лаборатории аридных кормовых культур КалмГУ имени Б. Б. Городовикова, стандартные (ГОСТ 10840-2017. Зерно. Метод определения натурности. – М: Стандартинформ, 2019. – 10 с.) и оригинальные методики [11, 12]. Анализ гранулометрического состава семенного вороха выполнен методом ситового анализа. В начале экспериментов определялась влажность семенного вороха прутняка. Для всех отобранных образцов она составила 10,2 %, что соответствует требованиям ГОСТ Р 55330-2012.

Проведенный опыт показывает, что в семенном ворохе наряду с семенами прутняка присутствуют веточки (измельченные фрагменты стеблей), оболочка семян, ворсинки, пленчатые крылатки, вата (древесноволокнистые фрагменты стеблей), крупные и мелкие примеси (пыль и песок). Средний размер частиц составил 1,554 мм. Общий вид фракций семенного вороха представлен на рисунке 2.

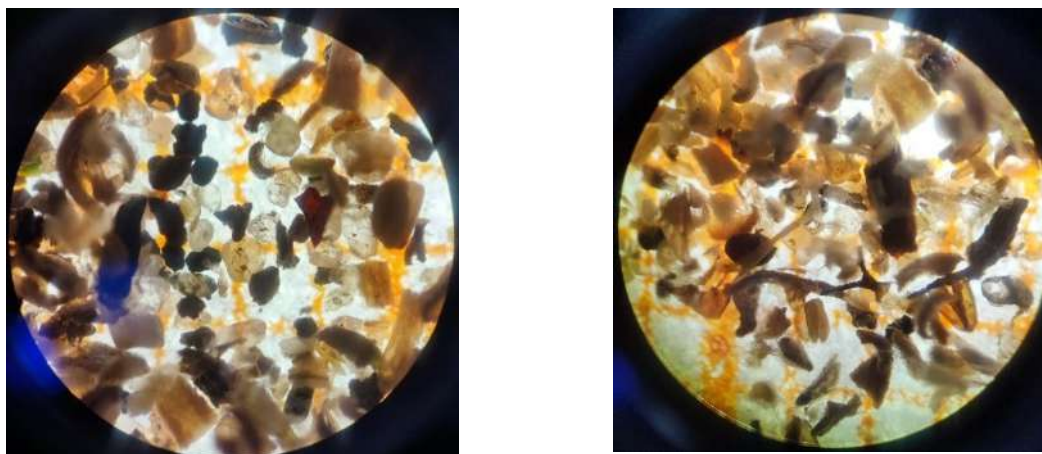


Рисунок 2 – Фрагменты образцов исходного семенного вороха прутняка (увеличение 14 раз)
Figure 2 – Fragments of the samples of the original seed mass of Kochia (14x magnification)

Непосредственно семена в семенном ворохе прутняка обнаружены четырех видов: семена, заключенные в пятикрылый околоплодник, диаметром от 3 до 5 мм (семена первого вида); семена в оболочке, покрытой многочисленными ворсинками, размером 0,8...1,6 мм (семена второго вида); плоды семян, покрытые пленкой, представляющей собой оболочку без ворсинок, размеры в длину 2,1...2,2 мм, а поперек, – 1,3...1,8 мм (семена третьего вида); темно-бурые, голые и гладкие семена, средним диаметром 1,8...2,2 мм (семена четвертого вида). Фото этих семян представлены на рисунке 3.

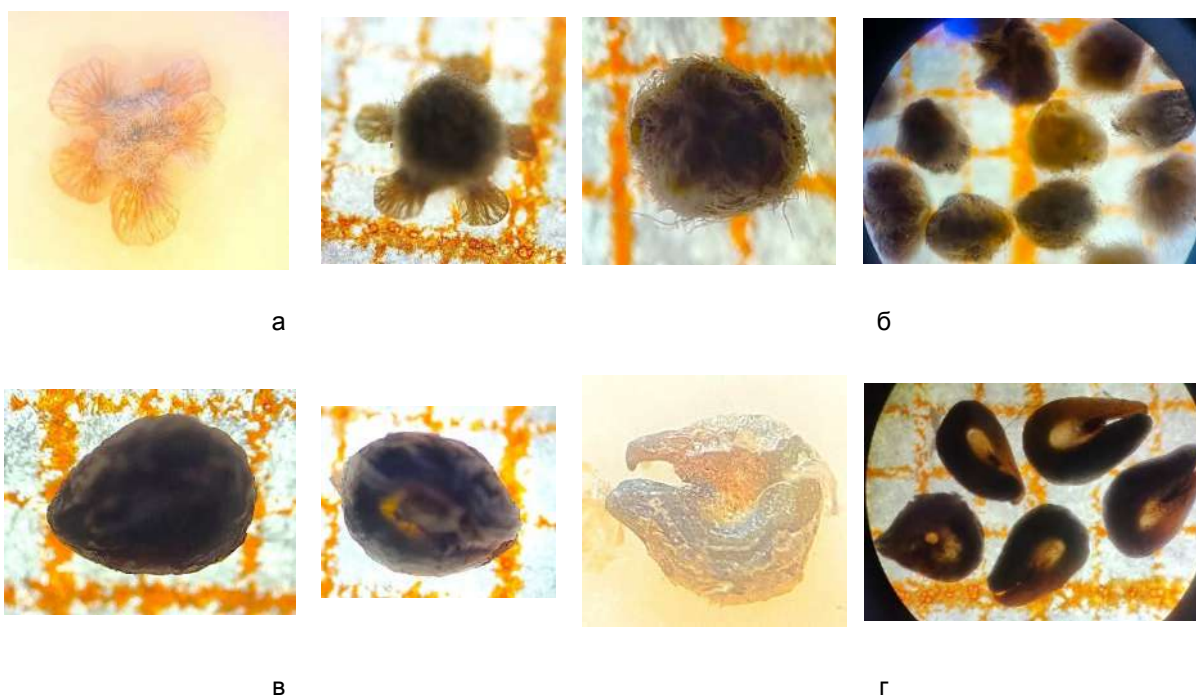


Рисунок 3 – Фото семян прутняка простертого: а – первого вида, б – второго вида; в – третьего вида; г – четвертого вида

Figure 3 – Photographs of *Kochia prostrata* seeds: a) first type; b) second type; c) third type; d) fourth type

По результатам проведенных опытов доказательно подтверждено, что семенным ворох прутняка является многокомпонентной смесью, которая содержит более 11 компонентов, из которых непосредственно семена представлены 4 видами. Все компоненты смеси имеют разнообразную форму сложной геометрии, что в наибольшей степени влияет не только на сыпучесть семенного вороха, но и на динамику изменения насыпной плотности в результате внешних воздействий.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с методиками, изложенными в [10], и моделировали реальные производственные процессы, например, движение посевного агрегата (ГОСТ 31345-2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытания» – М: Стандартинформ, 2018. – 58 с.). Целью этой части исследования является установление интенсивности изменения насыпной плотности семенного вороха прутняка в зависимости от величины и продолжительности внешних силовых воздействий.

Учитывая конструктивные особенности вибростоллика JT-2, смоделированы и осуществлена тарировка восьми режимов изменения внешних силовых воздействий, используя переключатель LOW-HIGHT (1 и 2 положение) и регулятор (позиции 1, 2, 3 и 4), согласно рисунку 1а. Режимы условно обозначены от P11 до P14 и P21 до P24, соответственно. В данном исследовании представлены результаты исследования на режимах: P11 (амплитуда колебаний 0,5 мм, виброскорость 65 мм/с, виброускорение 35 м/с²), P14 (амплитуда колебаний 1,08 мм, виброскорость 135 мм/с, виброускорение 77 м/с²), P23 (амплитуда колебаний 1,45 мм, виброскорость 177 мм/с, виброускорение 90 м/с²) и P24 (амплитуда колебаний 2,0 мм, виброскорость 200 мм/с, виброускорение 120 м/с²). В дальнейшем используем эти обозначения. Промежуточные результаты фиксировались через каждые 10 с, в течение 100 с.

При проведении экспериментов для всех режимов определялись величины уменьшения объема пустот за счет вибраций ΔV_v , уменьшения объема пустот за счет прессования ΔV_p , по которым производился расчет значений насыпной плотности γ_v , γ_p и коэффициентов уплотнения $K_{ув}$, $K_{уп}$ семенного вороха прутняка по методике, представленной в [10].

Фрагменты проведения экспериментальных исследований представлены на рисунке 4.

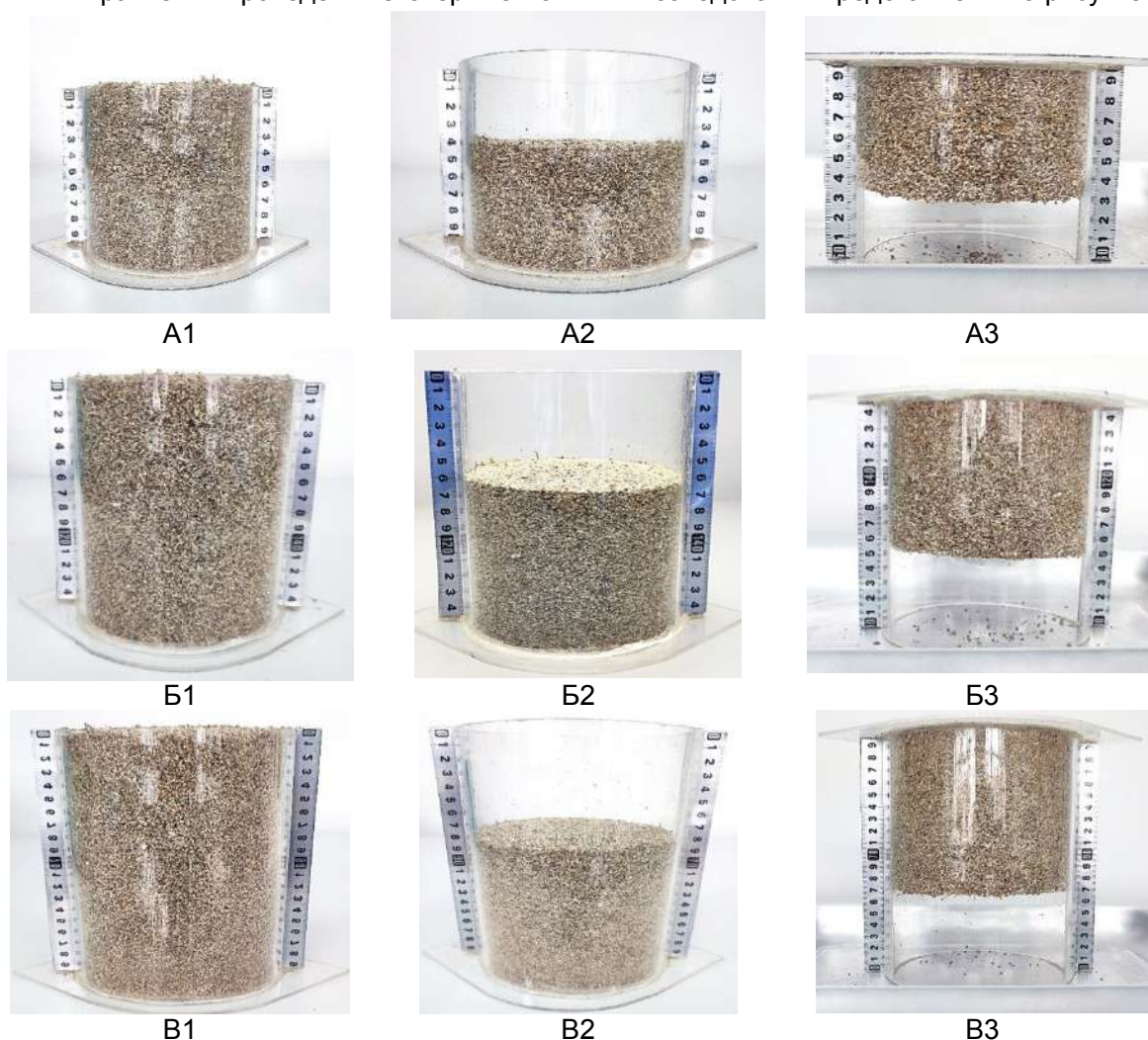


Рисунок 4 – Фото образцов в измерительных емкостях: а) V1,0; б) V1,5; в) V2,0
Figure 4 – Photographs of samples in measuring containers: a) V1.0; b) V1.5; c) V2.0

В соответствии с методикой полное наполнение всех измерительных емкостей (рисунки 4А1, 4Б1, 4В1) является исходным положением в каждом опыте. Установлено, что среднее значение исходной насыпной плотности составляет $\gamma = 152 \text{ кг/м}^3$. Здесь же представлено максимальное уплотнение образцов прутняка (рисунки 4А2, 4Б2, 4В2), которое характеризует полное отсутствие сыпучести и подвижности частиц (рисунки 4А3, 4Б3, 4В3). Используя опытные данные предельное значение насыпной плотности составит $\gamma_n = 255 \text{ кг/м}^3$, а коэффициент уплотнения механическим сжатием $K_{уп}$ равен 1,68.

На рисунке 5 представлены зависимости исходного объема от времени воздействия внешних колебаний, на различных режимах вибрации рабочей платформы вибростоллика.

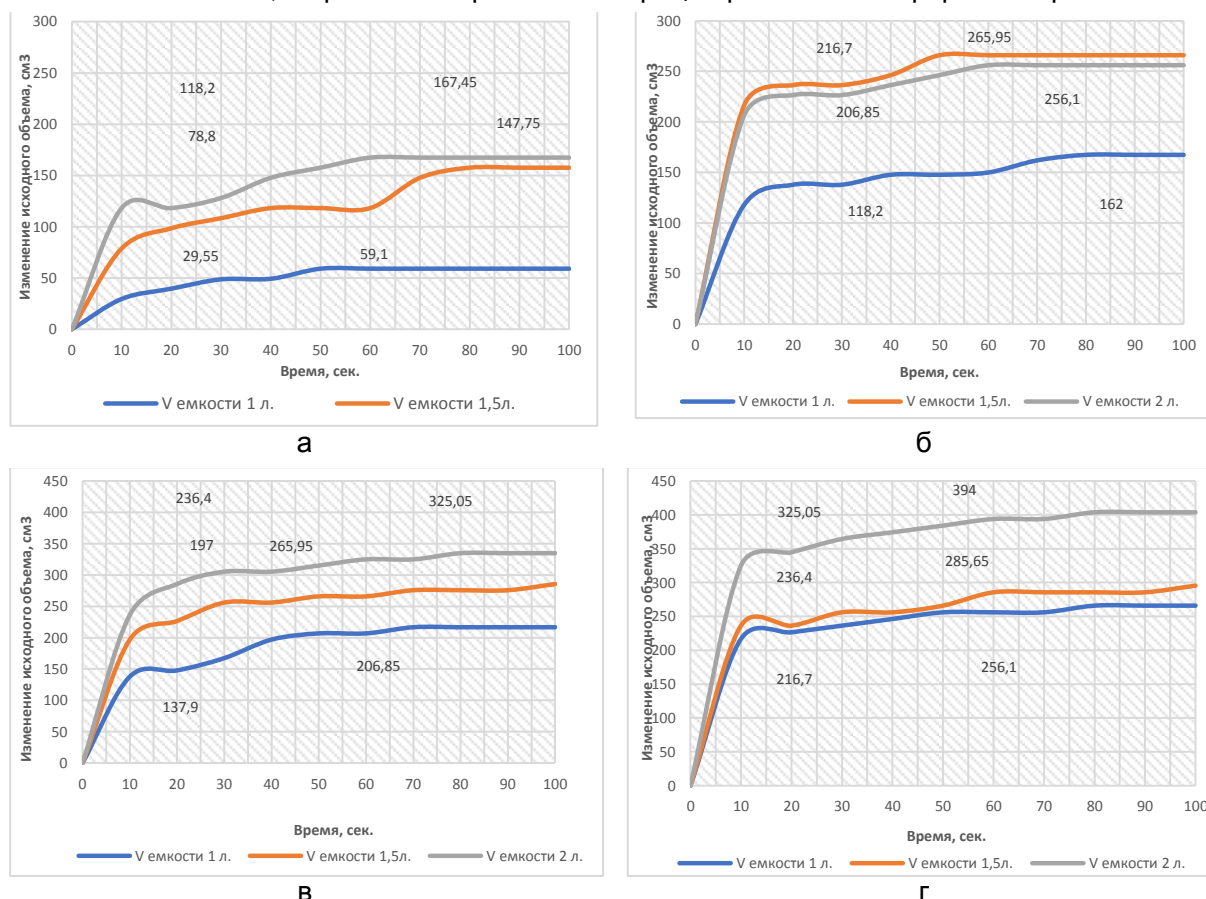


Рисунок 5 – Зависимость изменения исходного объема насыпки от времени воздействия внешних колебаний: а) режим P11, б) режим P14, в) режим P23, г) режим P24

Figure 5 – Dependence of the change in the initial bulk volume on the duration of external vibration exposure: а) mode P11; б) mode P14; в) mode P23; г) mode P24

Анализ полученных зависимостей позволил установить, что в результате внешнего воздействия на всех режимах работы вибростоллика выделяются три характерных зоны интенсивности изменения исходного объема насыпки, которые зависят не только от скорости вибрации и амплитуды колебаний, но и от типа измерительной емкости. Следует отметить, что для всех изученных режимов длительность этих трех зон примерно одинакова: первая зона, – 0...10 с, вторая зона, – 10...60 с, третья зона, – 60...100 с. Это дополняет и уточняет ранее проведенные исследования [10].

В режиме P11 в первой зоне, в пределах 10...12 с, исходный объем насыпки уменьшается для $V_{1,0}$, $V_{1,5}$ и $V_{2,0}$ со средней интенсивностью 3, 8 и 12 $\text{см}^3/\text{с}$, соответственно. Следующая зона монотонного снижения исходного объема протекает в течение от 10...12 с до 50...60 с. Средняя интенсивность для всех емкостей составляет 0,5...0,6 $\text{см}^3/\text{с}$. В дальнейшем, до продолжительности воздействия в 100 с, объем семенного вороха не уменьшается.

Изменение исходного объема семенного вороха прутняка для режимов P11, P14, P23 и P24 в среднем составили: для V1,0 – 6 %, 16 %, 22 % и 27 %; для V1,5 – 9 %, 18 %, 18 % и 19 %; для V2,0 – 8 %, 13 %, 17 % и 20 %, соответственно.

На рисунке 6 представлена зависимость насыпной плотности от времени воздействия внешних колебаний, при различных режимах вибрации рабочей платформы вибростолика.

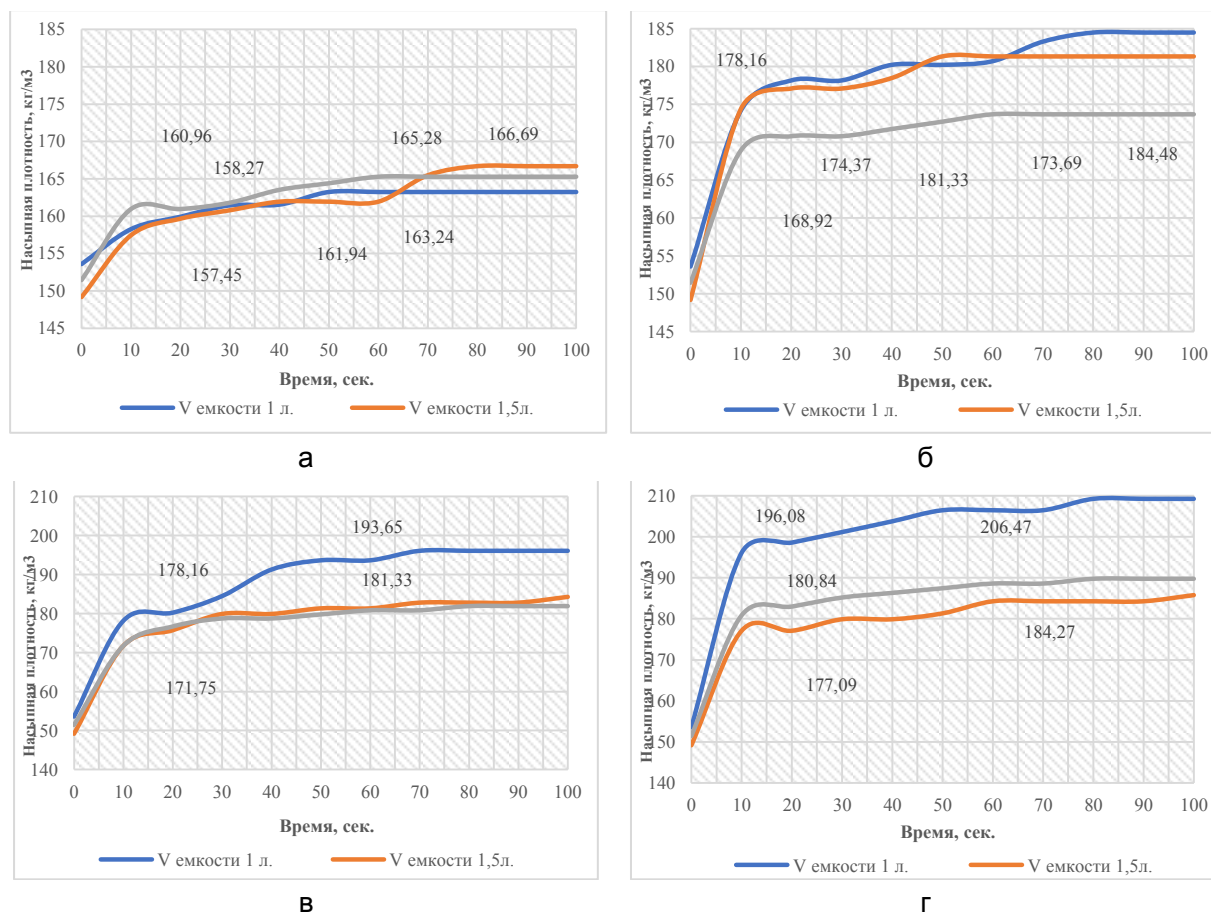


Рисунок 6 – Зависимость насыпной плотности от времени воздействия внешних колебаний:

а) режим P11, б) режим P14, в) режим P23, г) режим P24

Figure 6 – Dependence of bulk density on the duration of external vibration exposure:

а) mode P11; б) mode P14; в) mode P23; г) mode P24

Анализ полученных зависимостей показывает, что в режиме P11 насыпная плотность семенного вороха прутняка во всех измерительных емкостях V1,0, V1,5 и V2,0 изменялась незначительно, в пределах 163...165 кг/м³. В последующих режимах P14, P23 и P24 наблюдается повышение исходной плотности, при этом в емкости меньшего номинального объема это увеличение больше. Насыпная плотность в среднем составила: для V1,0 – 185, 196 и 209 кг/м³; для V1,5 – 181, 182 и 184 кг/м³ для V2,0 – 174, 182 и 190 кг/м³, соответственно.

Зная значения насыпной плотности, определены значения коэффициента уплотнения семенного вороха вибрацией $K_{ув}$, который для режимов испытания P11, P14, P23 и P24 составил: для V1,0 – 1,08; 1,22; 1,29 и 1,38; для V1,5 – 1,08; 1,19; 1,20 и 1,21; для V2,0 – 1,08; 1,15; 1,20 и 1,25, соответственно.

Наибольшая интенсивность увеличения насыпной плотности отмечается в первой зоне в течение 10...12 с. Для режимов испытания P11, P14, P23 и P24 она составила: для V1,0 – 0,05; 0,12; 0,36 и 0,18 кг/(м³с); для V1,5 – 0,16; 0,14; 0,21 и 0,14 кг/(м³с); для V2,0 – 0,11; 0,11; 0,21 и 0,18 кг/(м³с), соответственно.

Интенсивность увеличения насыпной плотности во второй зоне (от 10 с до 70 с) для режимов испытания P11, P14, P23 и P24 составила: для V1,0 – 0,6; 2,4; 2,8 и 4,6 кг/(м³с); для V1,5 – 0,7; 2,4; 2,1 и 2,7 кг/(м³с); для V2,0 – 0,8; 1,6; 2,1 и 2,9 кг/(м³с), соответственно.

Изменение насыпной плотности по сравнению с исходной для режимов P11, P14, P23 и P24 в среднем составили: для V1,0 – 8,3 %, 23,3 %, 31,1 % и 39,4 %; для V1,5 – 9,3 %, 20,7 %, 21,3 % и 22,7 %; для V2,0 – 9,8 %, 16,1 %, 21,3 % и 26,7 %, соответственно.

Динамика изменения насыпной плотности от величины виброускорения в зависимости от продолжительности внешних воздействий представлена на рисунке 7.

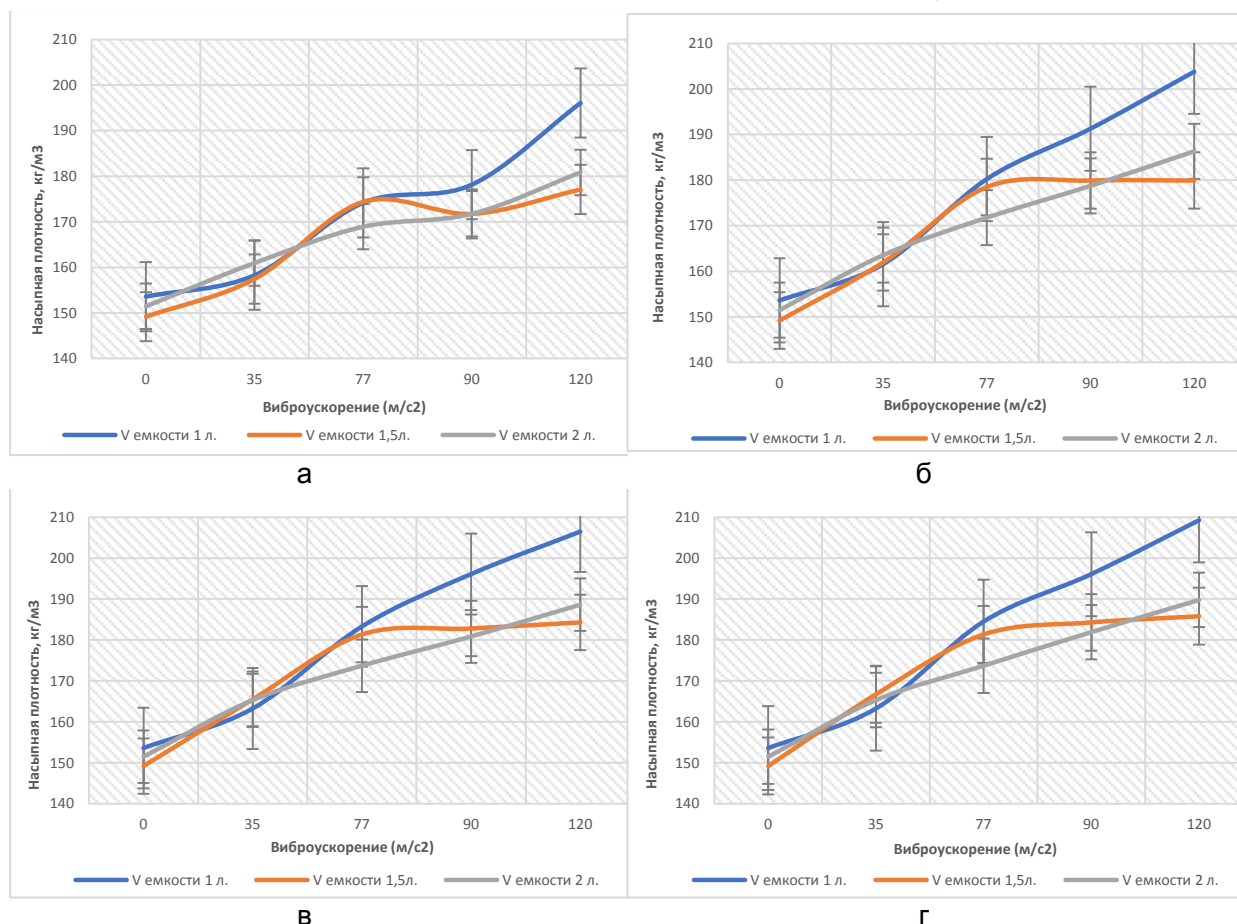


Рисунок 7 – Зависимость изменения насыпной плотности от виброускорения в течение:

а) 10 с, б) 40 с, в) 70 с, г) 100 с.

Figure 7 – Dependence of the change in bulk density on vibration acceleration over:

а) 10 s; б) 40 s; в) 70 s; г) 100 s.

Полученные графики, для всех режимов изменения виброускорения a и продолжительности испытания, с достаточной точностью аппроксимируются линейной зависимостью в следующем виде

$$\gamma_B = (0,2 \dots 0,4)a + 152 \quad (6)$$

В уравнении (6) значение коэффициента перед переменной виброускорения a следует принимать в зависимости от продолжительности вибрационного воздействия.

Обобщая результаты проведенного исследования, можно сделать следующие выводы.

Выводы. 1. В Калмыкии нарастает проблема противоречия между ростом численности поголовья животных и дефицитом кормовых ресурсов. Прогнозные расчеты, выполненные на основе существующих нормативов, показывают, что для восстановления деградированных кормовых угодий (2000 тыс. га) потребуется 6000 т семян трав фитомелиорантов, 2,0 млрд штук саженцев, более 300 единиц тракторов, сеялок, посадочных машин. Критичность ситуации усиливается тем, что значительная часть имеющихся посевных агрегатов не адаптированы для посева трав фитомелиорантов, а свойства семенного материала изучены недостаточно.

2. Предложена теоретическая зависимость (4) для оценки динамики изменения насыпной плотности многокомпонентных смесей, таких как семенной ворох прутняка.

3. Экспериментально определено, что в семенном ворохе наряду с семенами прутняка присутствуют веточки (измельченные фрагменты стеблей), оболочка семян, ворсинки, пленчатые крылатки, вата (древесноволокнистые фрагменты стеблей), крупные и мелкие примеси (пыль и песок), которые оказывают существенное влияние на сыпучесть и подвижность частиц семенного вороха. Средний размер частиц составил 1,554 мм.

4. Семена в образцах прутняка разделены на четыре вида: семена, заключенные в пятикрыльный околоплодник, диаметром от 3 до 5 мм; семена в оболочке, покрытой многочисленными ворсинками, размером 0,8...1,6 мм; плоды семян, покрытые пленкой, представляющей собой оболочку без ворсинок, размеры в длину 2,1...2,2 мм, а поперек, – 1,3...1,8 мм; темно-бурые, голые и гладкие семена, средним диаметром 1,8...2,2 мм.

5. Среднее значение исходной насыпной плотности составило $\gamma = 152 \text{ кг/м}^3$, предельное значение насыпной плотности – $\gamma_n = 255 \text{ кг/м}^3$, коэффициент уплотнения механическим сжатием $K_{уп}$ равен 1,68.

6. Изменение исходного объема семенного вороха прутняка для режимов P11, P14, P23 и P24 в среднем составили: для V1,0 – 6 %, 16 %, 22 % и 27 %; для V1,5 – 9 %, 18 %, 18 % и 19 %; для V2,0 – 8 %, 13 %, 17 % и 20 %, соответственно.

7. Значения коэффициента уплотнения семенного вороха вибрацией $K_{ув}$, для режимов испытания P11, P14, P23 и P24 составил: для V1,0 – 1,08; 1,22; 1,29 и 1,38; для V1,5 – 1,08; 1,19; 1,20 и 1,21; для V2,0 – 1,08; 1,15; 1,20 и 1,25, соответственно. Наибольшая интенсивность увеличения насыпной плотности в течение 10...12 с. Для режимов испытания P11, P14, P23 и P24 она составила: для V1,0 – 0,05; 0,12; 0,36 и 0,18 кг/(м³·с); для V1,5 – 0,16; 0,14; 0,21 и 0,14 кг/(м³·с); для V2,0 – 0,11; 0,11; 0,21 и 0,18 кг/(м³·с), соответственно.

8. Полученные результаты являются основной частью научного обоснования способов инженерно-технологической модернизации, разработки, изготовления и исследования новых экспериментальных образцов рабочих органов для механизированного посева различных трав фитомелиорантов, как для создания семеноводческих участков, так и при восстановлении деградированных кормовых угодий.

Conclusions. 1. In Kalmykia, a sharply contradictory problem is escalating between the growth of livestock numbers and the deficit of fodder resources. Forecast calculations based on existing norms indicate that restoring degraded fodder lands (2,000 thousand hectares) will require 6,000 tons of phytomeliiorant grass seeds, 2.0 billion seedlings, and over 300 units of tractors, seeders, and planting machinery. The criticality of the situation is exacerbated by the fact that a significant portion of existing seeding units are not adapted for sowing phytomeliiorant grasses, and the properties of seed material remain understudied.

2. A theoretical dependence (4) has been proposed to assess the dynamics of changes in the bulk density of multicomponent mixtures, such as the seed mass of kochia.

3. Experimental studies confirmed that the seed mass of kochia contains not only seeds but also twigs (crushed stem fragments), seed husks, hairs, membranous winglets, cotton (woody fibrous stem fragments), and large and small impurities (dust and sand), all of which significantly affect the flowability and mobility of the seed mass particles. The average particle size was 1.554 mm.

4. The seeds in the kochia samples were classified into four types: seeds enclosed in a five-winged pericarp, 3-5 mm in diameter; seeds in husks covered with numerous hairs, 0.8-1.6 mm in size; seed fruits covered with a smooth, hairless membrane, 2.1-2.2 mm in length and 1.3-1.8 mm in width; and dark brown, smooth, bare seeds with an average diameter of 1.8-2.2 mm.

5. The initial bulk density averaged $\gamma = 152 \text{ kg/m}^3$, the limiting bulk density was $\gamma_n = 255 \text{ kg/m}^3$, and the mechanical compression compaction coefficient was $K_{up} = 1.68$.

6. The changes in the initial volume of the kochia seed mass for modes P11, P14, P23, and P24 averaged: for V1.0 – 6 %, 16 %, 22 %, and 27 %; for V1.5 – 9 %, 18 %, 18 %, and 19 %; for V2.0 – 8 %, 13 %, 17 %, and 20 %, respectively.

7. The vibration compaction coefficient K_{uv} for the seed mass under test modes P11, P14, P23, and P24 was: for V1.0 – 1.08, 1.22, 1.29, and 1.38; for V1.5 – 1.08, 1.19, 1.20, and 1.21; for V2.0 – 1.08, 1.15, 1.20, and 1.25, respectively. The highest intensity of bulk density increase occurred within 10-12 seconds. For test modes P11, P14, P23, and P24, it was: for V1.0 – 0.05, 0.12, 0.36, and 0.18 kg/(m³·s); for V1.5 – 0.16, 0.14, 0.21, and 0.14 kg/(m³·s); for V2.0 – 0.11, 0.11, 0.21, and 0.18 kg/(m³·s), respectively.

8. The obtained results from the scientific basis for methods of engineering and technological modernization, development, production, and research of new experimental prototypes of working units for mechanized sowing of various phytomeliiorant grasses, both for establishing seed-growing plots and restoring degraded fodder lands.

Библиографический список

1. Дедова Э. Б., Гольдварг Б. А., Цаган-Манджиев Н. Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 63-71.
2. Цаган-Манджиев Н. Л., Тютюма Н. В. Некоторые итоги реализации программ по борьбе с опустыниванием территории Черных земель и Кизлярских пастбищ. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 92-95.
3. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Республики Калмыкия: монография. Волгоград – Элиста: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 300 с.
4. Ангрыков Б. А., Васькиев О. Д., Эвиев В. А., Лебедев А. Т. К вопросу повышения продуктивности природных пастбищ Республики Калмыкия. Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы его рационального использования: материалы XI региональной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 58-63.
5. Шамсутдинов З. Ш. и др. Биолого-экологические основы введения в культуру кохии простёртой в полупустынной зоне Северо-Западного Прикаспия. Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 119-125.
6. Koch D. W., Asay W. Forage Kochia – forage with fall and winter grazing potential. University of Wyoming Extension Pamphlet B-1122.5. Univ. of Wyoming, Laramie, Wyoming, USA. 2002. [https:// plants.sc.egov.usda.gov/plantguide/pdf/pg_kopr80.pdf](https://plants.sc.egov.usda.gov/plantguide/pdf/pg_kopr80.pdf)
7. Harrison R. D., Chatterton N. J., Waldron B. L., Davenport B. W., Palazzo A. J. Horton W. H., Asay K. H. Forage Kochia – its compatibility and potential aggressiveness on intermountain rangelands. Utah: Logan, 2000. 65 p.
8. Shamsutdinov Z. Sh., Engh-Amgalan S., Tsagan-Mandzhiev N. L. et al. Oasis irrigated fodder production is strategic direction to improve the pasture management sustainability in Mongolia. Natural resources and sustainable development in surrounding regions of the Mongolian Plateau: The eighth international conference, Ulaanbaatar, 2012. Pp. 339-343.
9. Tsagan-Mandzhiev N. L., Eviev V. A., Belyaeva B. I., Muchkaeva G. M. Agrobiological method of phytomelioration of degraded pastures using the cuttings of calligonum aphyllum and roll coulisses. 6-th International Conference on Agriproducts processing and Farming IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 422. 012130.
10. Лебедев А. Т. и др. Закономерности изменения насыпной плотности семян кохии простёртой. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2024. № 4 (44). С. 34-40.
11. Полторынkin С. С., Цепляев А. Н. Некоторые физико-механические свойства трудно сыпучих семян терескена и прутняка. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3 (31). С. 220-225.
12. Несмиян А. Ю. Обоснование модели сыпучих сред. Вестник аграрной науки Дона. 2013. № 3 (23). С. 25-34.

References

1. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L. Land Degradation in the Republic of Kalmykia: Problems and Ways of Their Restoration. Arid ecological systems. 2020. V. 26. № 2 (83). Pp. 63-71.
2. Tsagan-Mandzhiev N. L., Tyutyuma N. V. Some Results of the Implementation of Programs to Combat Desertification of the Territory of the Black Lands and Kizlyar Pastures. Arid ecological systems. 2023. V. 29. № 1 (94). Pp. 92-95.
3. National Program of Action to Combat Desertification of the Republic of Kalmykia: Monograph. Volgograd – Elista: Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2024. 300 p.
4. Angrykov B. A., Vaskiev O. D., Eviev V. A., Lebedev A. T. On the Issue of Increasing the Productivity of Natural Pastures in the Republic of Kalmykia. Natural resource potential of the Caspian region and adjacent territories: problems of its rational use: materials of the XI regional scientific and practical conference. St. Petersburg, 2024. Pp. 58-63.
5. Shamsutdinov Z. Sh., et al. Biological and ecological foundations of the introduction into culture of Kochia prostrata in the semi-desert zone of the North-Western Caspian region. Theoretical and applied ecology. 2021. № 1. Pp. 119-125.
6. Koch D. W., Asay W. Forage Kochia – forage with fall and winter grazing potential. University of Wyoming Extension Pamphlet B-1122.5. Univ. of Wyoming, Laramie, Wyoming, USA. 2002. [https:// plants.sc.egov.usda.gov/plantguide/pdf/pg_kopr80.pdf](https://plants.sc.egov.usda.gov/plantguide/pdf/pg_kopr80.pdf)
7. Harrison R. D., Chatterton N. J., Waldron B. L., Davenport B. W., Palazzo A. J. Horton W. H., Asay K. H. Forage Kochia – its compatibility and potential aggressiveness on intermountain rangelands. Utah: Logan, 2000. 65 p.
8. Shamsutdinov Z. Sh., Engh-Amgalan S., Tsagan-Mandzhiev N. L. et al. Oasis irrigated fodder production is strategic direction to improve the pasture management sustainability in Mongolia. Natural resources and sustainable development in surrounding regions of the Mongolian Plateau: The eighth international conference, Ulaanbaatar, 2012. Pp. 339-343.
9. Tsagan-Mandzhiev N. L., Eviev V. A., Belyaeva B. I., Muchkaeva G. M. Agrobiological method of phytomelioration of degraded pastures using the cuttings of calligonum aphyllum and roll coulisses. 6-th International Conference on Agriproducts processing and Farming IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 422. 012130.
10. Lebedev A. T., et al. Regularities of changes in the bulk density of seeds of Kochia prostrata. Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2024. № 4 (44). Pp. 34-40.
11. Poltorynkin S. S., Tsepilyaev A. N. Some Physical and Mechanical Properties of Hard-to-Loose Teresken and Prutnyaka Seeds. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2013. № 3 (31). Pp. 220-225.
12. Nesmiyan A. Y. Substantiation of the Bulk Media Model. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2013. № 3 (23). Pp. 25-34.

Информация об авторах

Лебедев Анатолий Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: lebedev.1962@mail.ru

Эвиев Валерий Андреевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Серегин Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: alexandrseriogin@mail.ru

Лебедев Павел Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 355035, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12), e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru

Абушинов Олег Анатольевич, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: stanley-cup@mail.ru

Мучаев Алдар Батырович, аспирант, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: muchaevaldar@gmail.com

Васькиев Олег Дорджиевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: vleg.vaskiev@bk.ru

Authors' Information

Lebedev Anatoly Timofeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Research Scientist, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), e-mail: lebedev.1962@mail.ru

Eviev Valery Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agroengineering, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Seregin Aleksander Anatolievich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), e-mail: alexandrseriogin@mail.ru

Lebedev Pavel Anatolievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Stavropol State Agrarian University (Russian Federation, 355035, Stavropol, Zootehnicheskyy Lane, 12), e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru

Abushinov Oleg Anatolievich, Senior Lecturer, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), e-mail: stanley-cup@mail.ru

Muchaev Aldar Batyrovich, Postgraduate Student, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), e-mail: muchaevaldar@gmail.com

Vaskiev Oleg Dordzhievich, Master's Student, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), e-mail: vleg.vaskiev@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-50

THE DEVICE FOR RECLAMATION OF THE MAN-MADE DISTURBED SOILS

Mescheryakov M. P., Grigorov S. M., Fomin S. D., Gapich D. S., Mescheryakova E. G.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: makc-sln@yandex.ru

Received 11.04.2025

Submitted 13.05.2025

Summary

Land reclamation and reclamation of man-made disturbed lands makes it possible to restore their productivity and economic value, ensuring the ecological, food and economic security of our country. From this point of view, agricultural lands directly involved in the process of reproduction of agricultural products are especially valuable: arable land, pastures, hayfields, orchards and vineyards. One of the main threats causing pollution of the lands with oil and petroleum products is the presence of pipeline transport passing through these territories. The Russian Federation has one of the largest pipeline transport systems, its length, according to Rosstat, is about 300 thousand km. At the same time, oil pipelines transport for about 50 thousand km. Some of them are laid on the territory of agricultural lands. The standard service life of such transport systems is 25 years, but the service life of many sites exceeds this indicator, which inevitably leads to an increase in the likelihood of accidents. In addition to developing preventive measures, it is necessary to develop and implement effective technologies for cleaning and cultivating disturbed lands. During the purification of oil-contaminated soils, bioremediation methods using microorganisms of oil destructors or sorbent materials can be used. The former often further hinder the development of the natural soil microbiota, and the use of sorbents involves mainly cleaning only the surface soil layer of 10-15 cm, deeper layers remain inactive, since the extraction of waste material from soil horizons located below 15 cm is difficult. In connection with the above, the article suggests using the device developed by the authors for cleaning and cultivation of soils.

Abstract

Introduction. The problem of oil and petroleum products contamination of soils is relevant not only in the development of deposits and the extraction of hydrocarbon raw materials, but also during its transportation. During the operation of oil pipelines, there is a constant direct and indirect impact on the environment: atmospheric air, flora and fauna, surface and groundwater, and soil. It is worth noting that pipelines often pass through the territory of agricultural lands, including its especially valuable land plots. Accidental oil spills in these areas lead to catastrophic consequences, first of all, destroying a particularly fertile surface

layer of soil, inhibiting plant growth and development. Light fractions of oil pollutants evaporate, polluting the atmospheric air, while others, along with soil waters, enter adjacent reservoirs, having a negative toxic effect on the environment. Large tracts of agricultural land are being withdrawn from economic circulation.

An object. A device for cleaning and reclamation of oil-contaminated soils. **Materials and methods.** The research was conducted in laboratory conditions on the basis of the Volgograd State Agrarian University Department of Physics. Materials containing information on methods of cleaning and reclamation of oil-contaminated soils, including the use of technical means and natural sorbents, were previously studied. The experiments were conducted in accordance with the established methodological requirements. **Results and conclusions.** During the research, a technical device was created for cleaning and cultivation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons, which has the following advantages: simplicity and mobility of operation; the ability to regulate the depth and degree of soil purification without removing and exporting it; application on various soils; regulation of the rate of extraction of pollutants using pumping equipment; use of pollutants in a cassette accumulator natural sorbent with the possibility of its regeneration and reuse. A technological scheme for the effective placement of the device in a polluted area has been developed.

Keywords: natural sorbent, zeolite, man-made disturbed soils, reclamation device, oil pollutants.

Citation: Mescheryakov M. P., Grigorov S. M., Fomin S. D., Gapich D. S., Mescheryakova E. G. The device for reclamation of the man-made disturbed soils. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 448-455 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-50.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.6.02:631.4

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВ

Мещеряков М. П., доктор технических наук, доцент
Григоров С. М., доктор технических наук, профессор
Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор
Гапич Д. С., доктор технических наук, профессор
Мещерякова Е. Г., старший преподаватель

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Проблема загрязнения нефтью и нефтепродуктами почв актуальна не только при разработке месторождений и добыче углеводородного сырья, но и при его транспортировке. В процессе эксплуатации нефтяных трубопроводов происходит постоянное прямое и косвенное воздействие на окружающую среду: атмосферный воздух, растительный и животный мир, на поверхностные и подземные воды, и на почву. Стоит отметить, что трубопроводы часто проходят по территории сельскохозяйственных земель, в том числе и по особенно ценным ее участкам – угодьям. Аварийные разливы нефти на этих участках приводят к катастрофическим последствиям, в первую очередь уничтожая особо плодородный поверхностный слой почвы, угнетая рост и развитие растений. Легкие фракции нефтяных поллютантов испаряются, загрязняя атмосферный воздух, другие вместе с почвенными водами попадают в прилегающие водоемы, оказывая негативное токсичное воздействие на окружающую среду. Большие участки земель сельскохозяйственного назначения выводятся из хозяйственного оборота. **Объект.** Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв. **Материалы и методы.** Исследования проводились в лабораторных условиях на базе ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ кафедры «Физика». Предварительно были изучены материалы, содержащие информацию о методах очистки и рекультивации нефтезагрязненных почв, в том числе с применением технических средств и природных сорбентов. Эксперименты проводились в соответствии с установленными методическими требованиями. **Результаты и выводы.** В ходе проведения исследований было создано техническое устройство для очистки и рекультивации почв, загрязненных нефтяными углеводородами, обладающее следующими преимуществами: простота и мобильность эксплуатации; возможность регулирования глубины и степени очистки грунта без его удаления и вывоза; применение на различных почвах; регулирование скорости извлечения поллютантов при помощи насосного оборудования; применение в кассете-аккумуляторе поллютантов природного сорбента с возможностью его регенерации и повторного использования. Разработана технологическая схема эффективного размещения устройства на загрязненном участке.

Ключевые слова: природные сорбенты, цеолит, техногенно-нарушенные почвы, устройства для рекультивации, нефтяные загрязнители.

Цитирование. Мещеряков М. П., Григоров С. М., Фомин С. Д., Гапич Д. С., Мещерякова Е. Г. Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 448-455. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-50.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Мелиорация и рекультивации техногенно-нарушенных земель позволяют восстановить их продуктивность и народнохозяйственную ценность, обеспечивая экологическую, продовольственную и экономическую безопасность нашей страны. С этой точки зрения особенно ценными являются земли сельскохозяйственного назначения, непосредственно участвующие в процессе воспроизводства сельскохозяйственной продукции: пашни, пастбища, сенокосы, сады и виноградники. Одна из основных угроз, вызывающих загрязнение угодий нефтью и нефтепродуктами – это наличие трубопроводного транспорта, проходящего по этим территориям (рисунки 1, 2).



Рисунок 1 – НПС Ростовская область
Figure 1 – NPS Rostov region



Рисунок 2 – Нефтепровод в Волгоградской области
Figure 2 – Oil pipeline in the Volgograd region

Российская Федерация обладает одной из крупнейших систем трубопроводного транспорта, ее протяженность по данным Росстата составляет около 300 тыс. км. При этом на нефтепроводы приходится примерно 50 тыс. км. Часть из них проложена по территории земель сельскохозяйственного назначения. Нормативный срок службы таких транспортных систем составляет 25 лет, но срок эксплуатации многих участков превышает данный показатель, что неизбежно приводит к росту вероятности аварийных ситуаций. Кроме проработки превентивных мероприятий, необходимо разрабатывать и внедрять эффективные технологии очистки и рекультивации нарушенных земель [3].

Таблица 1 – Этапы естественного самоочищения почв, загрязненных нефтяными углеводородами
Table 1 – Stages of natural self-purification of soils contaminated with petroleum hydrocarbons

№ п/п	Название этапа / Stage name	Продолжительность этапа / Duration of the stage	Характеристика этапа / Stage Characteristics
1	Физико-химический / Physical and chemical	1-1,5 года / 1-1.5 years	Снижение концентрации загрязнителя на 45-50 % / 45-50 % reduction in pollutant concentrations
2	Начальный микробиологический / Initial microbiological	После завершения первого длится 3,5-4 года / After the completion of the first one, it lasts 3.5-4 years	Резкое увеличение – в 25-30 раз почве микроорганизмов деструкторов нефти, разрушение метанонафтенных фракций / A sharp increase in the soil of microorganisms of oil destructors by 25-30 times, the destruction of methanonaphthenic fractions
3	Завершающий микробиологический / Final microbiological	После завершения второго, длится до полного разрушения загрязнителя (около 15 лет) / After the completion of the second, it lasts until the complete destruction of the pollutant (about 15 years)	Микробиологическое разложение смолянисто-асфальтеновых фракций / Microbiological decomposition of resinous-asphaltene fractions

Загрязненные почвы способны к естественному самоочищению и восстановлению (таблица 1), однако эти процессы протекают в течение длительного времени, процесс полного разрушения нефтяных загрязнителей завершается не ранее чем через 20-25 лет, токсичность углеводородного загрязнителя исчезает почти через 15 лет [2, 8].

Самоочищение почвенных сред происходит очень медленно, следовательно экологические последствия и материальные потери в результате их загрязнения заставляют принимать меры, связанные с очисткой и рекультивацией земель, и искать новые технологические и технические решения для быстрого восстановления деградированных участков [4].

Часто процесс рекультивации предполагает снятие и вывоз загрязненного грунта с целью дальнейшей его промывки, сжигания или складирования на специальных полигонах с целью утилизации. Эти методы не позволяют сохранить и восстановить верхние плодородные слои почвы [5, 6, 7].

В ходе очистки нефтезагрязненных почв могут применяться методы биоремедиации с использованием микроорганизмов деструкторов нефти или сорбирующих материалов. Первые часто в дальнейшем препятствуют развитию естественной почвенной микробиоты, а использование сорбентов предполагает преимущественно очистку только поверхностного слоя почвы 10-15 см, более глубокие слои остаются не задействованными, так как извлечение отработанного материала из почвенных горизонтов, расположенных ниже 15 см затруднено [8, 9, 10, 11].

В связи с вышеизложенным предлагается использовать разработанное авторами устройство для очистки и рекультивации почв.

Цель проводимых исследований – разработать устройство для очистки и рекультивации земель, загрязненных нефтяными загрязнителями, и обосновать элементы технологии его применения.

Для достижения заданного результата авторами была в лабораторных условиях разработана макетная установка для очистки и рекультивации земель, загрязненных нефтяными загрязнителями и обоснованы технологические элементы ее применения.

Материалы и методы. В процессе исследований разработано и запатентовано Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв (рисунок 3). Особенности данного устройства являются: крышка, снабженная штуцером с возможностью подключения насоса; горизонтальные пористые трубки, расположенные на боковых стенках обсадной трубы, позволяющие регулировать площадь и глубину очистки; вставленный внутри обсадной трубы съемный кассетный модуль, заполненный сорбентом – природным цеолитом, выбор данного минерала обусловлен его ионообменными нативными свойствами, позволяющими эффективно поглощать нефтяные загрязнения. Результаты ранее проведенных исследований по выбору природного сорбента приведены в таблице 2.

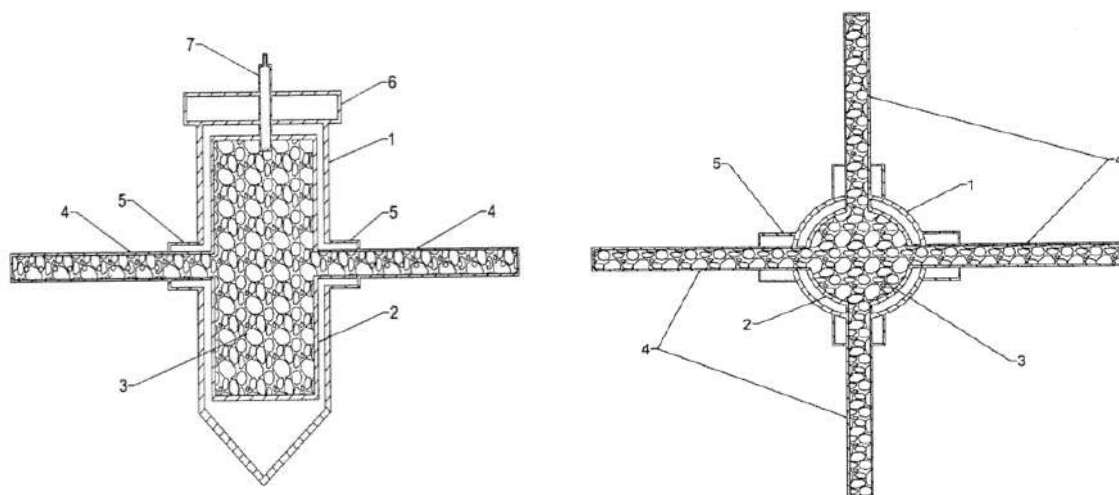


Рисунок 3 – Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв, загрязненных нефтяными углеводородами

Figure 3 – Device for reclamation of man-made soils contaminated with petroleum hydrocarbons

Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв состоит из обсадной трубы 1, внутри которой расположен съемный контейнер 2, наполненный природным цеолитом 3, горизонтальные пористые трубки 4 с природным цеолитом 3 внутри, расположен-

ные перпендикулярно относительно друг друга и прикрепленные в местах соединений 5 через боковые стенки обсадной трубы 1 к съемному контейнеру 2, плотно закрытому сверху съемной крышкой обсадной трубы 6, снабженной штуцером 7 для подсоединения насоса, который позволит регулировать естественное передвижение по почвенным порам углеводородов путем создания, например, при помощи вакуумного насоса зоны пониженного давления с целью изменения направления и ускорения передвижения в почвенных горизонтах нефтяных загрязнителей.

Таблица 2 – Сравнительная динамика очистки почвы, загрязненной нефтяными углеводородами в результате применения различных природных сорбентов

Table 2 – Comparative dynamics of soil purification contaminated with petroleum hydrocarbons as a result of the use of various natural sorbents

Наименование природного сорбента / Name of the natural sorbent	Содержание загрязнителя в почве по дням, (мг/кг) / The content of the pollutant in the soil by day, (mg/kg)				Степень очистки, % / Degree of purification, %
	1	4	7	10	
Уголь активированный / Activated carbon	162,44	87,63	53,91	58,37	64,07
Вермикулит / Vermiculite	166,84	115,75	107,23	109,28	34,50
Природный цеолит / Natural zeolite	165,08	81,67	45,78	41,07	75,12

Данные таблицы наглядно демонстрируют более высокую эффективность применения природного цеолита по сравнению с вермикулитом и активированным углем при очистке почвы от нефтяных загрязнителей. Степень очистки почвы от начального уровня загрязнения составила в результате его применения 75 %, что больше по сравнению с вермикулитом на 41 %, а с активированным углем на 11 %.



Рисунок 4 – Экспериментальный образец устройства для очистки и рекультивации почв, загрязненных нефтяными углеводородами

Figure 4 – Experimental model of a device for cleaning and reclamation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons

При проведении лабораторных исследований на экспериментальном образце устройства (рисунок 4) для очистки и рекультивации почв, загрязненных нефтяными углеводородами, было установлено, что миграция легкой фракции нефти, находящейся внутри почвенного профиля, перемещается более интенсивно в зону пониженного давления, созданную при помощи вакуумного насоса, в горизонтальные пористые трубки, закрепленные на обсадной трубе. Далее, за счет ионообменных свойств дополнительно активированного природного цеолита, происходит сорбирование и накопление различных углеводородных поллютантов в съемном контейнере, заполненном активированным природным цеолитом.

Технологический процесс. Технология применения разработанного устройства предусматривает его установку на участке, загрязненном нефтяными углеводородами, в соответствии со схемой, представленной на рисунке 5. Данный тип размещения позволяет эффективно регулировать площадь очистки.

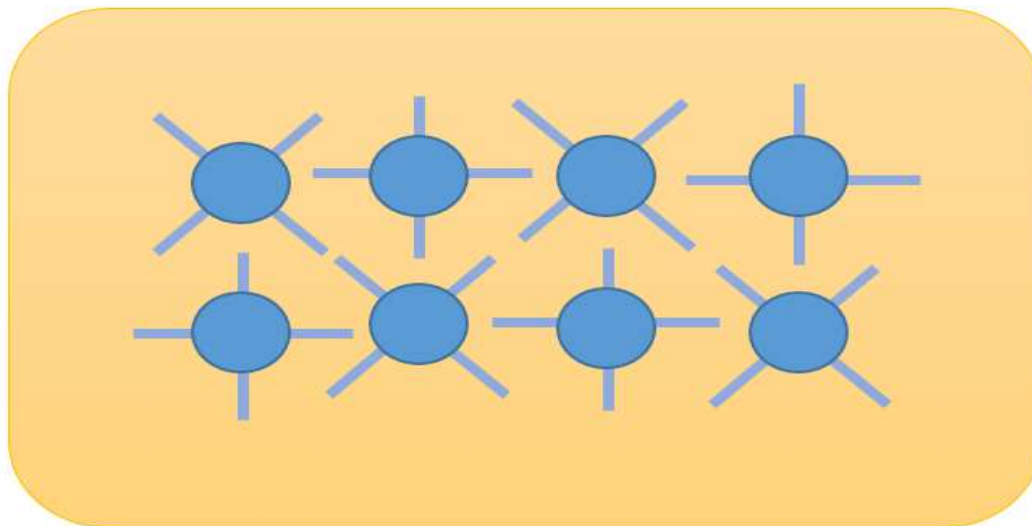


Рисунок 5 – Схема размещения устройства для очистки и рекультивации почв на загрязненном участке

Figure 5 – Layout of the device for cleaning and cultivation of soils in a polluted area

Данная технология предусматривает аккумуляцию в съемном контейнере 2 нефтяных загрязнителей, передвигающихся по почвенным порам за счет различных естественных и искусственно создаваемых физических сил, например, в результате подключения к устройству через штуцер 7, расположенного на съемной крышке 6 вакуумного насоса и создания зоны пониженного давления в прилегающем профиле. Поллютанты поступают в пористые горизонтальные трубки 4, расположенные перпендикулярно относительно друг друга и прикрепленные в местах соединений 5 к обсадной трубе 1 и по молекулярным капиллярам природного цеолита 3 попадают в контейнер 2, заполненный природным сорбентом цеолитом, который после насыщения заменяется для дальнейшего регулирования степени очистки почвы.

С целью увеличения глубины очистки почвы горизонтальные пористые трубки 4, прикреплены в местах соединений 5 посередине боковых стенок обсадной трубы 1.

Преимущества предлагаемого устройства:

- заглубляется в почву, позволяя очищать ее более глубокие слои на месте без снятия и вывоза грунта;
- может применяться на различных по своим физико-химическим характеристикам и гранулометрическому составу почвах;
- возможность подключения насосного оборудования увеличивает скорость извлечения загрязнителя;
- легкая замена кассеты с сорбционной загрузкой после ее насыщения;
- возможность регенерации сорбента и его повторного использования;
- регулирование степени очистки почвы;
- простота эксплуатации и мобильность.

Заключение. В ходе проведенных исследований:

- создано устройство для очистки и рекультивации почв, загрязненной нефтяными углеводородами;
- разработана технологическая схема размещения устройства для очистки и рекультивации почв на загрязненном участке;
- определена сорбционная загрузка для удаления загрязнителя.

Данное техническое решение эффективно и может использоваться для очистки и рекультивации деградированных в результате загрязнения нефтью и нефтепродуктами почв, в том числе и сельскохозяйственного назначения.

Conclusions. During the conducted research:

- a device was created for the cleaning and reclamation of soil contaminated with petroleum hydrocarbons;
- a technological scheme was developed for the placement of the device for cleaning and reclamation of soils in contaminated areas;
- the sorption load for removing the contaminant was determined.

This technical solution is effective and can be used for the cleaning and reclamation of degraded soils as a result of oil and petroleum product contamination, including agricultural land.

Библиографический список

1. Chachina S. B., Baklanova O. N., Chachina E. P. The recultivation of oilcontaminated soils with the help of earth worms *dendrobena veneta* and the complex of microorganisms. Ecology and construction. 2018. № 4. Pp. 34-38.
2. Красноперова С. А., Пучковский С. В., Рысин И. И., Исупова А. А. Экологический мониторинг загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами, приуроченных к нефтяным месторождениям Удмуртии. АгроЭкоИнфо. 2022. № 4 (52).
3. Соболева С. В., Есякова О. А., Воронин В. М. Перспективный метод очистки почвы от нефтепродуктов с использованием биосорбентов. Успехи современного естествознания. 2024. № 2. С. 30-35.
4. Мельник О. А., Никифорова Ю. Ю. Рекультивация загрязненных нефтепродуктами почв. Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 12-2 (114). С. 85-88.
5. Биктимеров Ф. Х. Очистка загрязненных почв: методы очистки от хлорорганических соединений, преимущества, недостатки и мировой опыт. Интернаука. 2023. № 46-2 (316). С. 33-35.
6. Апулу О. Г., Потравный И. М., Сухорукова И. В. Методы обоснования и выбора технологий рекультивации загрязненных нефтью земель. Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 6. С. 38-43.
7. Сивков Ю. В., Никифоров А. С. Исследование способов повышения эффективности восстановления земель, загрязненных нефтепродуктами. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 3. С. 7-8.
8. Гребенников А. М. Нормативно-правовая документация в области рекультивации земель и охрана почв. Почвы – стратегический ресурс России: тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв. Москва-Сыктывкар, 2021. С. 863-864.
9. Мещеряков М. П., Хавронина В. Н., Кузнецова Н. В., Тронева С. В., Мещерякова Е. Г. Оценка эффективности применения модифицированного сорбента на техногенно загрязненных почвах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 438-445.
10. Чачина С. Б., Лапочкина А. С. Рекультивация почв, загрязненных отработанным машинным маслом, с использованием дождевых червей *eisenia fetida* и микробиологических препаратов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-1. С. 84-88.
11. Кирдин В. Ф., Штырхун В. Д., Конончук В. В., Тимошенко С. М. Восстановление плодородных свойств почвы в период рекультивации. Аграрная Россия. 2024. № 11. С. 24-26.
12. Левченко А. Г. и др. Рекультивация почв сельскохозяйственного назначения с применением сорбента "УНИПОЛИМЕР-М". Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 10. С. 42-45.
13. Еремченко О. З., Сапцын Р. В., Ложкина Е. А., Тыршу Е. В. Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв. Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2022. № 1. С. 64-71.
14. Eremchenko O. Z., Moskvina N. V., Mitrakova N. V., Efimik E. G., Shestakov I. E. A multifaceted approach to assessing the effectiveness of remediating oil-contaminated soils. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2021. V. 6. № 4. Pp. 26-40.
15. Gurbanov E. M., Aslanova S. Sh., Asadova B. Q., Ibrahimov Sh. I. Phytoecological research on oil-contaminated soils of "shirvanneft" oil and gas development area and its recultivation (Azerbaijan) Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve. 2023. № 33. Pp. 172-183.

References

1. Chachina S. B., Baklanova O. N., Chachina E. P. The recultivation of oilcontaminated soils with the help of earth worms *dendrobena veneta* and the complex of microorganisms. Ecology and construction. 2018. № 4. Pp. 34-38.
2. Krasnoperova S. A., Puchkovsky S. V., Rysin I. I., Isupova A. A. Ecological monitoring of soil pollution with oil and oil products, timed to oil fields of Udmurtia. AgroEcolInfo. 2022. № 4 (52).
3. Soboleva S. V., Esyakova O. A., Voronin V. M. Promising Method of Soil Purification from Oil Products Using Biosorbents. Advances in modern natural science. 2024. № 2. Pp. 30-35.
4. Melnik O. A., Nikiforenko Y. Y. Reclamation of soils contaminated with oil products. International Research Journal. 2021. № 12-2 (114). Pp. 85-88.
5. Biktimerov F. Kh. Cleaning of contaminated soils: methods of cleaning from organochlorine compounds, advantages, disadvantages and world experience. Internauka. 2023. № 46-2 (316). Pp. 33-35.
6. Apulu O. G., Potravny I. M., Sukhorukova I. V. Methods of substantiation and choice of technologies for the reclamation of oil-polluted lands. Ecology and Industry of Russia. 2021. V. 25. № 6. Pp. 38-43.
7. Sivkov Y. V., Nikiforov A. S. Study of Ways to Improve the Efficiency of Restoration of Lands Contaminated with Oil Products. Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences. 2024. № 3. Pp. 7-8.
8. Grebennikov A. M. Regulatory and legal documentation in the field of land reclamation and soil protection. Soils as a Strategic Resource of Russia: Abstracts of the VIII Congress of the V. V. Dokuchaev Society of Soil Scientists and the School of Young Scientists on Soil Morphology and Classification. Moscow-Syktvykar, 2021. Pp. 863-864.
9. Meshcheryakov M. P., Khavronina V. N., Kuznetsova N. V., Tronev S. V., Meshcheryakova E. G. Evaluation of the Effectiveness of the Modified Sorbent Application on Technogenically Contaminated Soils. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. № 3 (67). Pp. 438-445.

10. Chachina S. B., Lapochkina A. S. Recultivation of soils polluted by waste machine oil, using earthworms *eisenia fetida* and microbiological preparations. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2016. № 10-1. Pp. 84-88.
11. Kirdin V. F., Shtyrhunov V. D., Kononchuk V. V., Timoshenko S. M. Restoration of Soil Fertile Properties during the Reclamation Period. *Agrarian Russia*. 2024. № 11. Pp. 24-26.
12. Levchenko A. G., et al. Recultivation of agricultural soils with the use of the sorbent "UNIPOLYMER-M". *Environmental protection in the oil and gas industry*. 2013. № 10. Pp. 42-45.
13. Eremchenko O. Z., Saptsyn R. V., Lozhkina E. A., Tyrshu E. V. Assessment of the Efficiency of Reclamation of Oil-Contaminated Soils. *Bulletin of Perm University. Series: Biology*. 2022. № 1. Pp. 64-71.
14. Eremchenko O. Z., Moskvina N. V., Mitrakova N. V., Efimik E. G., Shestakov I. E. A multifaceted approach to assessing the effectiveness of remediating oil-contaminated soils. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021. V. 6. № 4. Pp. 26-40.
15. Gurbanov E. M., Aslanova S. Sh., Asadova B. Q., Ibrahimov Sh. I. Phytoecological research on oil-contaminated soils of "shirvanneft" oil and gas development area and its recultivation (Azerbaijan) *Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve*. 2023. № 33. Pp. 172-183.

Информация об авторах

Мещеряков Максим Павлович, доктор технических наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: makc-sln@yandex.ru

Григорьев Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: gsm.dtn@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий центром НАМСИ, научный редактор, заместитель главного редактора журнала, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: fsd_58@mail.ru

Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: gds-08@mail.ru

Мещерякова Елена Геннадьевна, старший преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: ale-sn@yandex.ru

Authors' Information

Meshcheryakov Maksim Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26.), e-mail: makc-sln@yandex.ru

Grigorov Sergey Mikhailovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26.), e-mail: gsm.dtn@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the NAMS Center, Scientific Editor, Deputy Editor-in-Chief, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26.), e-mail: fsd_58@mail.ru

Gapich Dmitry Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26.), e-mail: gds-08@mail.ru

Meshcheryakova Elena Gennadievna, Senior Lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26.), e-mail: ale-sn@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-51

THE VALIDATION OF THE MATHEMATICAL MODELS AS AN ALGORITHMIC BASIS FOR THE DIGITAL DOUBLES OF WATER MANAGEMENT ENTERPRISES

¹Rogachev A. F., ²Rogachev D. A.

¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

²*Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named
after A. N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: rafr@mail.ru

Received 04.04.2025

Submitted 16.04.2025

Summary

The results of the development of the algorithmic basis of the digital twin of a water management organization are presented, as which a set of mathematical models defining the main technological and water-physical processes is justified. The research results have shown that the outlined approach to water supply planning and management provides water losses reduction and crop yield increase under rational water resources utilization.

Abstract

Introduction The article discusses the theoretical and methodological aspects of substantiating mathematical models as the algorithmic basis of digital twins (DT) of water management enterprises in the hydro-reclamation complex. The relevance of the study is due to the need to improve the efficiency of automated water resources management systems in the context of growing water scarcity and climate change. **Methods and materials.** Based on the analysis of existing approaches to digitalization of irrigated agriculture, the choice of key mathematical models for the implementation of the DT is justified. The following basic equations are proposed: the water balance equation, the Penman-Monteith evapotranspiration model,

and the A. Likhatchevich model of crop productivity. Additionally, the Darcy and Richards differential equations for modeling moisture transfer processes in soil are considered. **Results and discussion.** A block diagram of the developed data center at the on-farm level is presented, including data collection modules, a computational core, and a user interface. The functional capabilities of the system are described, including simulation modeling of water consumption and forecasting crop yields, taking into account hydrometeorological conditions. Special attention is paid to the integration of modern big data processing and machine learning technologies (Random Forest, Gradient Boosting, LSTM) to improve forecast accuracy and optimize irrigation regimes. The proposed approach makes it possible to model a set of factors that determine the activities of water management enterprises – heat and moisture supply, mineral nutrition of plants, and soil properties. **Conclusions.** The results of the study demonstrate the possibility of significantly improving the efficiency of irrigation system management through the use of DT. This ensures more accurate planning of water supply, reducing water losses and increasing crop yields with the rational use of water resources. The obtained conclusions can be used in the development of specialized information and analytical platforms for automated management of land reclamation systems at various levels.

Keywords: water management enterprises, mathematical models, digital twins.

Citation. Rogachev A. F., Rogachev D. A. The validation of the mathematical models as an algorithmic basis for the digital doubles of water management enterprises. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 455-463 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-51.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 556:004

ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КАК АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

¹Рогачев А. Ф., доктор технических наук, профессор

²Рогачев Д. А., кандидат технических наук

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФНЦ ВНИИГум им. А. Н. Костякова

г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. В статье рассматриваются теоретические и методологические аспекты обоснования математических моделей как алгоритмической основы цифровых двойников (ЦД) водохозяйственных предприятий в гидромелиоративном комплексе. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности систем автоматизированного управления водными ресурсами в условиях растущего дефицита воды и изменения климата. **Методы и материалы.** На основе проведенного анализа существующих подходов к цифровизации орошаемого земледелия обоснован выбор ключевых математических моделей для реализации ЦД. В качестве базовых предложены: уравнение водного баланса, модель эвапотранспирации Пенмана-Монтейта и модель продуктивности сельскохозяйственных культур А. Лихачевича. Дополнительно рассматриваются дифференциальные уравнения Дарси и Ричардса для моделирования процессов влагопереноса в почве. **Результаты и обсуждение.** Представлена структурная схема разработанного ЦД на внутрихозяйственном уровне, включающая модули сбора данных, расчетного ядра и интерфейса пользователя. Описаны функциональные возможности системы, включая имитационное моделирование водопотребления и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических условий. Отдельное внимание уделено интеграции современных технологий обработки больших данных и машинного обучения (Random Forest, Gradient Boosting, LSTM) для повышения точности прогнозов и оптимизации режимов орошения. Предложенный подход позволяет моделировать комплекс факторов, определяющих деятельность водохозяйственных предприятий – тепло- и влагообеспеченность, минеральное питание растений, свойства почвы. **Выводы.** Результаты исследования демонстрируют возможность значительного повышения эффективности управления оросительными системами за счет применения ЦД. Это обеспечивает более точное планирование водоподачи, снижение потерь воды и повышение урожайности сельскохозяйственных культур при рациональном использовании водных ресурсов. Полученные выводы могут быть использованы при разработке специализированных информационно-аналитических платформ для автоматизированного управления мелиоративными системами различного уровня.

Ключевые слова: водохозяйственные предприятия, математические модели, цифровые двойники.

Цитирование. Рогачев А. Ф., Рогачев Д. А. Обоснование математических моделей как алгоритмической основы цифровых двойников водохозяйственных организаций. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 455-463. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-51.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Теоретическое обоснование концептуальных подходов к разработке средств автоматизированного управления мелиоративной деятельностью водохозяйственного комплекса, реализуемого на основе multifunctional цифровых платформ, является важной научно-методологической проблемой [0]. Исследование различных аспектов проблемы рационального водопользования и водосбережения посвящены публикации В. Бородычева, М. Григорова, И. Кружилина, А. Лихацевича, А. Новикова, А. Овчинникова, В. Ольгаренко, Б. Шумакова, В. Щедрина и других ученых-мелиораторов [16, 17]. Отдельные вопросы рационализации водоподдачи, включая и ее оптимизацию с использованием математического моделирования, рассмотрены в работах А. Ахмедова, М. Бандурина, В. Бочарникова, В. Волосухина, Л. Кирейчевой, А. Кравчука, Е. Кузнецова, М. Лытова, А. Майера, Е. Мелиховой, Г. и И. Ольгаренко, В. Остапчика, Н. Пронько, Шуравилина, И. Юрченко и других исследователей [8, 13-15]. Возможности интеграции ЦД гидромелиоративного назначения с другими системами, включая специализированные ГИС, исследовались М. Зверьковым, С. Смеловой, Т. Булгаковой [6].

Для повышения эффективности систем автоматизированного управления водохозяйственными предприятиями используются различные виды математических моделей, которые могут интегрироваться в составе информационно-аналитических систем различного назначения [7], включая цифровые двойники (ЦД). Практическая реализация ЦД обеспечивается посредством специализированных систем, включая цифровые платформы [5, 4], которые находят широкое применение в оросительных мелиорациях, позволяя использовать виртуальные модели гидромелиоративных систем, повышая их надежность и эффективность [2, 3].

В то же время вопросы обоснования выбора математических моделей, которые целесообразно использовать в качестве алгоритмической основы систем автоматизированного управления (САУ) водохозяйственными предприятиями, включая создание и применение ЦД, требуют дальнейшего обоснования.

Методы и материалы. Целью настоящего исследования является теоретико-методологическое обоснование выбора математических моделей, которые целесообразно использовать в качестве алгоритмической основы для построения САУ предприятий водохозяйственного комплекса, включая создание и применение ЦД в составе специализированных информационно-аналитических платформ АПК.

В качестве основных задачи исследований принимались:

- выявить специфику ЦД как алгоритмической основы ИАС в рамках специализированной платформы водохозяйственного комплекса на основе анализа развития систем цифровизации орошаемого аграрного производства на мелиорируемых землях;
- оценить возможные структурно-алгоритмические варианты ЦД и перспективы их дальнейшего совершенствования в рамках гидромелиоративных ИАС.

Использовались методы системного анализа, информационно-аналитического и математического моделирования и экспертно-статистических оценок, а также морфологического синтеза. При этом базовыми математическими моделями, описывающими гидротермические и гидродинамические процессы орошаемого земледелия, принимались уравнения водного баланса, модель транспирации Пенмана-Монтета, а также уравнения продуктивности А. Лихацевича [10].

Результаты и обсуждение.

Проблема создания ЦД и их модельно-алгоритмического обеспечения существенно определяется автоматизацией, который может обеспечиваться уровнях отрасли, региона, оросительной системы или водохозяйственного предприятия [0].

При обосновании обобщенных структуры и алгоритмического ядра ЦД учитывалась схема АСУ для автоматизированного управления эколого-мелиоративным режимом и продуктивности агроэкосистемы, предложенная И. Юрченко и представленная на рисунке 1.

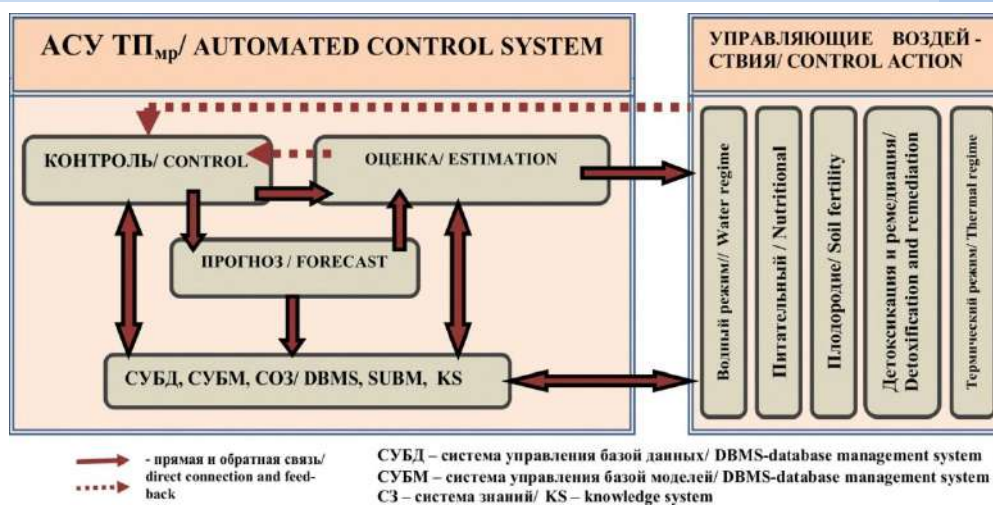


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированного управления эколого-мелиоративным режимом и продуктивности агроэкосистемы [1]

Figure 1 – Functional scheme of automated control of ecological and ameliorative regime and productivity of agro-ecosystem [1]

Некоторые функции такой системы, например прогнозирующие, могут быть реализованы посредством специализированных ЦД.

Основные направления применения ЦД, на каждом из упомянутых выше уровней, могут включать:

- информационное моделирование, в процессе которого создание ЦД участков гидромелиоративных систем позволяет проводить ретроспективный анализ и прогнозировать поведение системы при различных складывающихся климатических и хозяйственных условиях. Это способствует оптимизации управления водными ресурсами и повышению эффективности оросительных мероприятий [1, 11];

- разработка и совершенствование цифровых платформ, в рамках которых внедрение ЦД способствует становлению и развитию цифровизации водохозяйственного мелиоративного комплекса, обеспечивая интеграцию данных и улучшая процессы принятия решений в управлении водными ресурсами [16];

- обоснование объемов оросительных мелиораций, для оптимизации которых ЦД и могут использоваться для обоснования оптимальных объемов оросительных мелиораций в напряженных природно-хозяйственных условиях, что способствует повышению продуктивности сельскохозяйственных культур и более рациональному использованию ограниченных водных ресурсов [9].

Следовательно, при наличии соответствующего алгоритмического обеспечения, применение ЦД в оросительных мелиорациях позволяет улучшить управление водными ресурсами, повысить эффективность оросительных систем и обеспечить устойчивое развитие сельскохозяйственного сектора.

Особенностью разработанного ЦД является одновременный учет как водопотребления, так и продуктивности орошаемой сельскохозяйственной культуры, для моделирования которой представляется перспективным учет факторов тепло- и влагообеспеченности и минерального питания, предложенный акад. А. Лихацевичем [10].

Следовательно, создание и функционирование ЦД в гидромелиорации опирается на комплекс алгоритмических и математических методов, обеспечивающих точное моделирование и управление водными ресурсами. Ключевые компоненты математического обеспечения включают:

Математическое моделирование гидрологических процессов с использованием дифференциальных уравнений для описания движения воды в каналах и почве, учитывая факторы инфильтрации, испарения и стока.

Методы численного анализа, такие как метод конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ), для решения сложных гидродинамических уравнений, что позволяет моделировать поведение водных систем с высокой точностью.

Алгоритмы оптимизации для разработки и обоснования стратегий управления оросительными системами, направленных на эффективное распределение ограниченных водных ресурсов и снижение потерь воды.

Анализ больших данных и машинное обучение для прогнозирования гидрологических параметров, выявления скрытых закономерностей и адаптивного управления системами орошения.

Интеграция ЦД и других систем управления гидромелиоративным комплексом может использовать:

геоинформационные системы (ГИС), а также ГИС-технологии, которые обеспечивают пространственный анализ и визуализацию данных, что способствует более точному моделированию и мониторингу гидромелиоративных объектов.

Системы реального времени и Интернета вещей (IoT), датчики и устройства которых позволяют собирать данные в реальном времени, обеспечивая оперативное обновление данных и параметров ЦД и своевременное реагирование на изменения в системе.

Комплексное применение перечисленных математических и алгоритмических методов обеспечивает создание гибких динамических ЦД в гидромелиорации, что способствует повышению эффективности управления водными ресурсами и устойчивому развитию сельского хозяйства.

Анализ многообразия математических зависимостей для имитационного моделирования и прогнозирования водопотребления [2, 5, 9, 10], позволил обосновать следующую совокупность моделей для математического обеспечения алгоритмического ядра проектируемого ЦД:

Уравнение водного баланса:

$$P + I = ET + R + D + \Delta S \quad (1)$$

где: P – атмосферные осадки; I – ирригационные поступления; ET – эвапотранспирация; R – поверхностный сток; D – инфильтрация в глубокие слои; ΔS – изменение запасов влаги в почве.

2. Модель эвапотранспирации (например, уравнение Пенмана-Монтейта):

$$ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2)$$

где: R_n – чистая радиация; G – тепловой поток в почве; T – средняя суточная температура воздуха; u_2 – скорость ветра на высоте 2 м; e_s – давление насыщенного пара; e_a – фактическое давление пара; Δ – наклон кривой насыщенного пара; γ – психрометрическая постоянная.

В зависимости (2) правая часть числителя представляет собой выражение, характеризующее аэродинамическое влияние атмосферного воздуха.

Для выполнения прикладных расчетов необходимо определение значений следующих вспомогательных параметров (3) – (8):

- давление насыщенного водяного пара, как функции температуры:

$$e_s(T) = 0.6108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}\right) \quad (3)$$

- актуальное давление водяного пара:

$$e_a = \frac{RH}{100} \cdot e_s \quad (4)$$

- психрометрическая константа:

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{0.622 \cdot \lambda} \quad (5)$$

- наклон кривой давления насыщенного пара:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237.3)^2} \quad (6)$$

- чистая радиация:

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_s - R_{nl} \quad (7)$$

- исходящая длинноволновая радиация R_n :

$$R_{nl} = \sigma \cdot T^4 \cdot (0.34 - 0.14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot (1.35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35) \quad (8)$$

где численные значения констант можно принимать

$$c_p = 1.013 \cdot 10^{-3} \text{ МДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)};$$

$$\lambda = 2.45 \text{ МДж/кг}.$$

3. Модели роста сельскохозяйственных культур. Общая модель роста культур имеет вид

$$Y = f(W, T, R, S), \quad (9)$$

где: Y – урожайность; W – доступность воды; T – температура; R – радиация; S – свойства почвы.

В качестве базового уравнения продуктивности можно использовать предложенную А. Лихацевичем зависимость (4)

$$\frac{Y}{Y_{\max}} = \exp \left\{ - \sum_{i=1}^n \left[a_i \left(\frac{R_{i\text{opt}} - R_i}{R_i - R_{i(\min, \max)}} \right)^2 \right] \right\}, \quad (10)$$

где Y – оцениваемый урожай; $Y_{\max}$ – максимум урожая; a_i – коэффициент пропорциональности воздействия i -го фактора среды на урожай; n – количество учитываемых факторов; $R_{i\text{opt}}$ – оптимальное значение i -го фактора среды, при котором достигается максимум урожая; R_i – фактическое значение i -го фактора среды; $R_{i(\min, \max)}$ – значения i -го фактора среды, при которых урожай перестает формироваться и погибает.

Дополнительно необходимо использовать математические модели для уточнения расчетов – дифференциальные уравнения Дарси, Ричардса и другие, описывающие процессы влагопереноса при орошении и учитывающие агрофизические свойства почв.

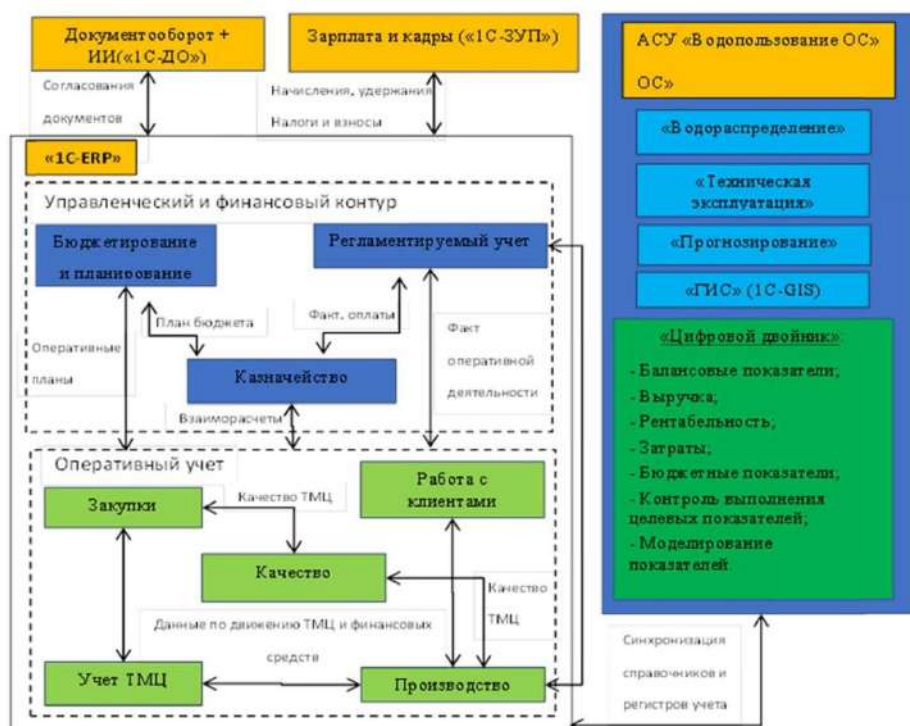


Рисунок 2 – Структурная схема разработанного ЦД на внутрихозяйственном уровне
Figure 2 – Structural diagram of the developed CD at the on-farm level

Структурная схема разработанного ЦД внутрихозяйственного уровня, реализующего приведенные выше алгоритмические зависимости, представлена на рисунке 2.

Использование подсистемы «Цифровой двойник» в рамках разрабатываемой на базе функционала 1С-ERP АСУ «Водопользования ОС» позволяет моделировать различные сценарии процессов управления оросительной системы и с учетом полученной информации принимать адекватные управленческие решения.

Фрагмент рабочих окон алгоритмического ядра разработанного ЦД представлен на рисунке 3.

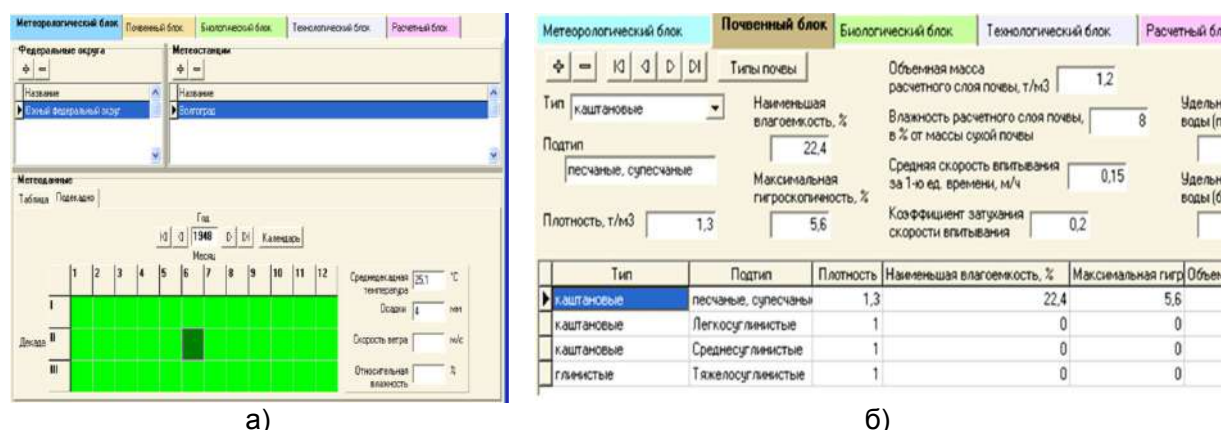


Рисунок 3 – Интерфейс ввода данных алгоритмического ядра разработанного ЦД:

а) дискретное представление метеоданных; б) «Почвенный блок» интерфейса

Figure 3 – Data entry interface of the algorithmic core of the developed CD: a) discrete representation of meteorological data; b) "Soil block" of the interface

Для настройки функционирования расчетной подсистемы ЦД и реализации имитационного моделирования необходимо предварительное заполнение соответствующих справочников, включая гидрометеорологические данные базового года (рисунок 3-а), почвенно-климатических условий орошаемого участка (рисунок 3-б),

Таким образом, реализованная расчетно-аналитическая подсистема ЦД позволяет на основе приведенных зависимостей проводить оценку продуктивности и водопотребления задаваемой совокупности сельскохозяйственных культур на внутрихозяйственном уровне, в том числе в имитационном режиме, учитывающем гидрометеорологические условия некоторого задаваемого базового года, параметры которого хранятся в базе данных.

Для дальнейшего совершенствования разрабатываемого ЦД водохозяйственной организации при продолжении исследований, можно дополнить его алгоритмическое ядро модулем прогнозных расчетов с использованием следующих статистических и интеллектуальных нейросетевых методов:

- Машинное обучение (Random Forest, Gradient Boosting).
- Глубокое нейросетевое обучение (RNN, LSTM для временных рядов).
- Специальные статистические модели (ARIMA с учетом сезонности – SARIMA).

Заключение. Проведенные исследования позволили получить следующие выводы.

1. Обоснованная совокупность математических моделей, как алгоритмической основы ЦД водохозяйственных предприятий, обеспечивает повышения качества управления процессами оросительных мелиораций в гидромелиоративном комплексе на основе прогнозирования водопотребления при реализации требуемых режимов орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающих их заданную урожайность.

2. Применение ЦД для интенсификации возделывания орошаемых культур обеспечивает повышение обоснованности управленческих решений для ресурсосбережения при выращивании орошаемых сельскохозяйственных культур за счет обеспечения требуемых режимов орошения.

Conclusions. The conducted research allowed us to draw the following conclusions.

1. The substantiated set of mathematical models as an algorithmic basis for CD of water management enterprises provides the improvement of irrigation reclamation process management quality in the irrigation and drainage complex on the basis of water consumption forecasting under realization of the required irrigation regimes for agricultural crops that ensure their specified crop yield.

2. Application of CD for intensification of irrigated crops cultivation provides increased validity of management decisions for resource saving in growing irrigated crops by providing the required irrigation regimes.

Библиографический список

1. Юрченко И. Ф. Становление цифровых платформ мелиоративного водохозяйственного комплекса. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2020. № 1 (57). С. 380-395.
2. Karpenko N. P., Kireycheva L. V. Digital technologies and means of control for automated regulation of the radiation balance of agroecosystems. Environmental Engineering. 2020. No 2. Pp. 34-41.
3. Концепция «Научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства». <http://mcxasc.ru/upload/iblock/97d/97d2448548e047b0952c3b9a1b10edde.pdf/>.
4. Gray J., Rumpe B. Modeling of, for, and with digital twins. Software and Systems Modeling. 2022.
5. Heather Clancy Why smart irrigation startups are bubbling up. <https://www.greenbiz.com/article/why-smart-irrigation-startups-are-bubbling>
6. Зверьков М. С., Смелова С. С., Булгакова Т. Г. Создание «цифрового двойника» и ретроспективный анализ динамики состояния гидромелиоративной системы на эксплуатационном этапе ее жизненного цикла с использованием геоинформационных систем. Природообустройство. 2023. № 5. С. 6-12.
7. Kruzhilin I. P., et al. Assessing the ecological state of agricultural irrigated fields of the Orenburg gas processing complex with dumping sewage water for crop irrigation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2019th International Symposium on Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2019. V. 350. P. 012037.
8. Рогачев Д. А., Юрченко И. Ф. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов. International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 5.
9. Мелихова Е. В. Моделирование и обоснование ресурсосберегающих параметров капельного орошения при возделывании корнеплодов: монография. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2017. 112 с.
10. Лихацевич А. П. Математическая модель урожая сельскохозяйственных культур. Вестник Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. 2021. Т. 59. № 3. С. 304-318.
11. Рогачев Д. А., Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф., Рогачев А. Ф. Технология управления системным водопользованием с применением методов искусственного интеллекта и моделей – двойников организации. Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67. № 4 (400). С. 404-410.
12. Rogachev A. F., et al. Digital twins as a tool for systemic integration of innovative digital technologies in agriculture. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. No 1069. 012042
13. Бандурин М. А., Волосухин В. А. Безопасность сооружений водного хозяйства юга России: новые вызовы и пути решения. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2022. 224 с.
14. Kamyshova G., et al. Approaches to the Intellectualization of Decision Support in Irrigated Agriculture Based on Self-organizing Neural Networks. Digital and Information Technologies in Economics and Management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Moscow: Springer International Publishing, 2022. Pp. 159-169.
15. Zeyliger A., et al. Results of the Analysis of Water Stress Regimes for Irrigated Crops Based on Remote Sensing Data. Advances in Science, Technology and Innovation. 2022. Pp. 319-322.
16. Мамин В. Ф. и др. Научное обоснование агротехнологий в орошаемом земледелии. Научное обоснование развития мелиорации, водного хозяйства и орошаемого земледелия. Москва : ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова», 2024. С. 306-444.
17. Кирейчева Л. В. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования. Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 2(398). С. 233-238.

References

1. Yurchenko I. F. Formation of Digital Platforms of the Reclamation Water Management Complex. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex. 2020. № 1 (57). Pp. 380-395.
2. Karpenko N. P., Kireycheva L. V. Digital technologies and means of control for automated regulation of the radiation balance of agroecosystems. Environmental Engineering. 2020. No 2. Pp. 34-41.
3. The concept of "Scientific and Technological Development of Digital Agriculture". <http://mcxasc.ru/upload/iblock/97d/97d2448548e047b0952c3b9a1b10edde.pdf/>.
4. Gray J., Rumpe B. Modeling of, for, and with digital twins. Software and Systems Modeling. 2022.
5. Heather Clancy Why smart irrigation startups are bubbling up. <https://www.greenbiz.com/article/why-smart-irrigation-startups-are-bubbling>
6. Zverkov M. S., Smelova S. S., Bulgakova T. G. Creation of a "Digital Twin" and Retrospective Analysis of the Dynamics of the State of the Irrigation and Reclamation System at the Operational Stage of Its Life Cycle Using Geographic Information Systems. Environmental Engineering. 2023. № 5. Pp. 6-12.
7. Kruzhilin I. P., et al. Assessing the ecological state of agricultural irrigated fields of the Orenburg gas processing complex with dumping sewage water for crop irrigation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2019th International Symposium on Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2019. V. 350. P. 012037.
8. Rogachev, D. A., Yurchenko I. F. Modeling and optimization of system water distribution under water resources deficit conditions. International Agricultural Journal. 2022. V. 65, No 5.
9. Melikhova E. V. Modeling and justification of resource-saving parameters of drip irrigation in the cultivation of root crops: monograph. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2017. 112 p.
10. Likhatsevich A. P. Mathematical model of the harvest of agricultural crops. Vestnik Nats. acad. navuk Belarusi. Ser. agrarian. navuk. 2021. V. 59. No 3. Pp. 304-318.

11. Rogachev D. A., Kireycheva L. V., Yurchenko I. F., Rogachev A. F. Technology of Management of System Water Use with the Use of Artificial Intelligence Methods and Models – Twins of the Organization. *International Agricultural Journal*. 2024. V. 67. No 4 (400). Pp. 404-410.
12. Rogachev A. F., et al. Digital twins as a tool for systemic integration of innovative digital technologies in agriculture. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. No 1069. 012042.
13. Bandurin M. A., Volosukhin V. A. Safety of Water Facilities in the South of Russia: New Challenges and Solutions. *Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin*, 2022. 224 p.
14. Kamysheva G., et al. Approaches to the Intellectualization of Decision Support in Irrigated Agriculture Based on Self-organizing Neural Networks. *Digital and Information Technologies in Economics and Management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Moscow: Springer International Publishing, 2022. Pp. 159-169.
15. Zeyliger A., et al. Results of the Analysis of Water Stress Regimes for Irrigated Crops Based on Remote Sensing Data. *Advances in Science, Technology and Innovation*. 2022. Pp. 319-322.
16. Mamin V. F., et al. Scientific substantiation of agricultural technologies in irrigated agriculture. Scientific substantiation of the development of land reclamation, water management and irrigated agriculture. Moscow: FSBI "Federal Scientific Center VNIIGiM named after A. N. Kostyakov", 2024. Pp. 306-444.
17. Kireicheva L.V., et al. Optimization of limited water resources distribution by methods of evolutionary genetic programming. *International Agricultural Journal*. 2024. No 2(398). Pp. 233-238.

Информация об авторах

Рогачев Алексей Фруминович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: rafr@mail.ru

Рогачев Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44), e-mail: Rogachev.soft@gmail.com

Authors' Information

Rogachev Aleksey Fruminovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: rafr@mail.ru

Rogachev Dmitry Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, leading research associate, Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya St., 44), e-mail: Rogachev.soft@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-52

THE INFLUENCE OF CONTAINERS AND PACKAGING MATERIALS ON THE DAMAGE TO APPLES DURING THE TRANSPORTATION

Uspensky I. A., Yukhin I. A., Kolotov A. S., Pribylov D. O., Ushanev A. I., Yumaev D. M., Filyshin O. V.

*Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation*

Corresponding author E-mail anton.kolotov.89@mail.ru

Received 09.03.2025

Submitted 16.05.2025

The study was carried out in accordance with the direction of the research work "Improving the performance of transport and technological machines during on-farm transportation of agricultural products in the agro-industrial complex" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education.

Abstract

Introduction. Analysis of the preservation of apples during transportation is an important element of agricultural science that requires in-depth study. The discoveries and results of this study can form the basis for innovative approaches to fruit processing technology, from the moment of harvesting to its final preparation for sale. **The object of the study** was apples, which are an important agricultural product. Their integrity during transportation has a direct impact on the profitability and quality standards of the product. **Materials and methods.** This study was carried out with experts from the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. In the course of the study, unified methods of analyzing the quality and durability of fruits were used, and various container options and packaging materials were used. **Results and conclusion.** The findings of the study on the effectiveness of different packaging materials in protecting fruits during transportation confirmed that certain types of materials provide effective protection of the products from external damage, maintaining their original appearance throughout the entire logistics chain. These studies emphasize the importance of choosing adequate packaging to preserve the quality of products, highlighting the need for attention to detail in packaging solutions. Significantly, these findings highlight the key role of choosing the right packaging in maintaining optimal freshness, especially for apples, during their transportation. Such findings are not only theoretical but also practical, providing a basis for improving fruit storage and transportation methods, as well as for raising overall quality standards in the agro-industrial sector. Consequently, continued research in this area may contribute to the creation of innovative packaging methods that will improve the safety and quality of products during their delivery, meeting market needs and increasing the competitiveness of producers.

Keywords: characteristics of apples, varieties of apples, apple processing, dimensions of apples, mechanical effects on fruits, transportation of apples.

Citation. Uspensky I. A., Yukhin I. A., Kolotov A. S., Pribylov D. O., Ushanev A. I., Yumaev D. M., Filyushin O. V. The influence of containers and packaging materials on the damage to apples during the transportation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 463-471 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-52.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.558.1

ВЛИЯНИЕ ТАРЫ И УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ

Успенский И. А., доктор технических наук, профессор

Юхин И. А., доктор технических наук, профессор

Колотов А. С., кандидат технических наук, доцент

Прибылов Д. О., аспирант

Ушанев А. И., кандидат технических наук, доцент

Юмаев Д. М., кандидат технических наук

Филёшин О. В., кандидат технических наук

ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева
г. Рязань, Российская Федерация

Исследование выполнено в соответствии с направлением научно-исследовательской работы «Повышение эксплуатационных показателей транспортных и технологических машин при внутрихозяйственных перевозках сельскохозяйственной продукции в агропромышленном комплексе» ФГБОУ ВО РГАУ.

Актуальность. Анализ сохранности яблок в процессе транспортировки представляет собой важный элемент аграрной науки, требующий углубленного изучения. Открытия и результаты данного исследования могут стать основой для инновационных подходов в технологии обработки плодов, от момента уборки урожая до его конечной подготовки к продаже. **Объект.** Объектом исследования выступали яблоки, представляющие собой важный продукт сельского хозяйства. Их целостность в процессе транспортировки оказывает непосредственное воздействие на доходность и стандарты качества товара. **Материалы и методы.** Настоящее исследование реализовывалось с экспертами из Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. В процессе исследования применялись унифицированные методики анализа качества и долговечности фруктов, а также использовались разнообразные варианты контейнеров и материалы для упаковки. **Результаты и выводы.** Заключение исследования об эффективности различных упаковочных материалов на защиту фруктов во время транспортировки подтвердили, что определенные типы материалов обеспечивают эффективную защиту продукции от внешних повреждений, сохраняя ее первоначальный вид на протяжении всей логистической цепочки. Эти исследования подчеркивают важность выбора адекватной упаковки для сохранения качества продуктов, выделяя необходимость внимания к деталям упаковочных решений. Существенно, что эти выводы выявляют ключевую роль подбора правильной упаковки в сохранении оптимальной свежести, особенно для яблок, при их транспортировке. Такие выводы имеют не только теоретическое, но и практическое значение, представляя основу для улучшения методов хранения и транспортировки фруктов, а также для повышения общих стандартов качества в агропромышленном секторе. Следовательно, продолжение научных работ в этой области может способствовать созданию новаторских методов упаковывания, которые будут способствовать улучшению сохранности и качества продукции во время ее доставки, удовлетворяя потребности рынка и повышая конкурентоспособность производителей.

Ключевые слова: характеристики яблок, разновидности яблок, обработка яблок, габариты яблок, механические воздействия на фрукты, транспортировка яблок.

Цитирование. Успенский И. А., Юхин И. А., Колотов А. С., Прибылов Д. О., Ушанев А. И., Юмаев Д. М., Филёшин О. В. Влияние тары и упаковочных материалов на повреждения яблок при перевозке. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 463-471. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-52.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Цикл обработки яблок, начиная от уборки урожая и заканчивая этапом их транспортировки, а также дальнейшей переработкой, включает в себя многочисленные этапы, подвергаящие продукцию различным механическим воздействиям. Эти воздействия могут привести к формированию многообразных повреждений, включая вмятины и порезы. В Российской Федерации исполнено значительное количество детальных исследований, направленных на изучение физико-механических свойств яблок [4] для минимизации и предупреждения таких повреждений. В этом аспекте значительный вклад внесли исследователи Г. П. Варламов, В. И. Сидоренко, В. И. Сербулов и В. Д. Забросаев, чьи работы существенно продвинули научные знания в данной сфере.

Материалы и методы. Чтобы адаптировать яблоки для использования в качестве эталонов при калибровочных измерениях, критично точно определить их основные геометрические характеристики. Это включает измерение наибольшего и наименьшего диаметров – $D_{\text{макс}}$ и $D_{\text{мин}}$, а также высоты плода H . Рассматривая сечение яблока, выполненное через его геометрический центр, можно заметить, что оно приближается к форме окружности. В самом широком месте плода замеры перпендикулярных друг к другу диаметров определяют, как максимальный и минимальный диаметры. Эти измерения помогают вычислить средний диаметр $D_{\text{ср}}$, который представляет собой арифметическое среднее между $D_{\text{макс}}$ и $D_{\text{мин}}$.

В процессе классификации фруктов особенно важно учитывать их геометрическую форму, что приводит к их разделению на три основные категории: эллипсоидальную, круглую и цилиндрическую. Именно размеры и пропорции фруктов служат главным критерием для определения их принадлежности к одной из этих групп.

$$K_n = \frac{D_{\text{макс}}}{H},$$

где K_n – это коэффициент формы, который служит показателем геометрических характеристик плода. Плоские плоды обладают коэффициентом формы больше единицы ($K_n > 1$), округлые плоды имеют коэффициент равный единице ($K_n = 1$), в то время как у удлинённых плодов коэффициент формы меньше единицы ($K_n < 1$); $D_{\text{макс}}$ – это наибольший поперечный диаметр плода, измеряемый в миллиметрах; H обозначает высоту плода, также указываемую в миллиметрах.

В таблице 1 демонстрируются данные, иллюстрирующие связь между основными параметрами анализируемых яблок.

Таблица 1 – Размерные пропорции яблочных плодов
Table 1 – Size proportions of apple fruits

Сорт / Sort	Диаметр сечения плодов, мм / Diameter of the fruit section, mm				Высота плодов, мм / Fruit height, mm		$m_{\text{дм}}$
	$m_{\text{д макс}}$	$\sigma_{\text{д макс}}$	$m_{\text{д мин}}$	$\sigma_{\text{д мин}}$	$m_{\text{н}}$	$\sigma_{\text{н}}$	
Антоновка / Antonovka	72	8	68	8	56	7	1,24
Гренни Смит / Granny Smith	59	7	57	6	54	6	1,11
Фуджи / Fuji	64	7	64	7	54	6	1,20
Ред Делишес / Red Delicious	66	6	66	8	49	6	1,36
Гала / Gala	67	6	65	8	51	5	1,29
Джонаголд / Johngold	55	5	52	5	49	4	1,14
Голден / Golden	51	2	47	5	51	4	0,95
Ренет Симиренко / Renet Simirenko	66	7	61	7	58	4	1,13
Белый налив / Bely Naliv	53	7	54	7	66	7	0,81
Чемпион / Champion	51	6	44	6	52	8	0,90

Одним из важных параметров яблока считается его вес. В результате статистической обработки данных, полученных в ходе эксперимента, мы вывели формулу, которая позволяет установить зависимость между средним весом яблока и его максимальным диаметром.

$$m = A D^n,$$

где А и n – коэффициенты, которые характерны для каждого помологического типа яблок (таблица 2).

Таблица 2 – Уникальные коэффициенты А и n для каждого сорта яблок

Table 2 – Unique coefficients A and n for each apple variety

Сорт / Sort	A	n
Антоновка / Antonovka	0,00038	3,1
Гренни Смит / Granny Smith	0,00158	2,67
Фуджи / Fuji	0,00183	2,67
Ред Делишес / Red Delicious	0,000583	2,93
Гала / Gala	0,000383	3,05
Джонаголд / Johngold	0,00027	3,08
Голден / Golden	0,000076	3,36
Ренет Симиренко / Renet Simirenko	0,00027	3,14

Под влиянием вертикальных вибраций в насыпном грузе происходит каскадная передача усилий между слоями. Это приводит к тому, что верхние элементы, такие как плоды или клубни, не распределяя энергию вибраций далее, используют её исключительно для подпрыгивания. Последующее падение и удар по лежащему ниже слою завершает этот процесс.

Следовательно, невыгодное положение испытывают как верхний, так и нижний ярусы плодов. Последний, в особенности, подвержен полному воздействию механических нагрузок и при падении контактирует не с другими плодами, а с поверхностью досок, отличающейся повышенной твердостью. Разнонаправленные силовые воздействия в ходе транспортировочных испытаний [1] способствуют увеличению повреждений у фруктов, расположенных по краям. Лабораторные испытания по определению уровня поврежденности различных слоев яблок сорта "Антоновка" при использовании вибрационных частот 2,5; 6,7; и 10 Гц и высоте загрузки 300 и 500 мм демонстрируют результаты, изложенные на рисунке 1.

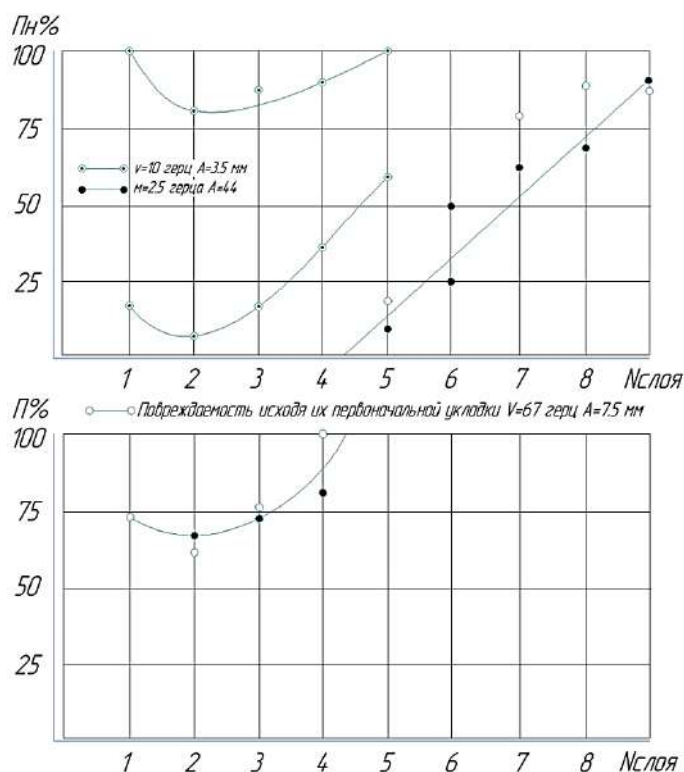


Рисунок 1 – Зависимость повреждаемости яблок "Антоновка" от места расположения их по высоте при действии вертикальных колебаний разных частот

Figure 1 – Dependence of damage to Antonovka apples on their location by height under the influence of vertical vibrations of different frequencies

На представленных диаграммах Пн обозначает долю плодов, которые не соответствуют стандартным категориям, в то время как П указывает на процент повреждённых плодов [2], не попавших в категории высшего и первого сорта. Интерпретация данных исследований свидетельствует о том, что минимальное количество повреждений фиксируется у плодов, расположенных на втором снизу уровне, тогда как степень повреждений плодов в нижнем слое обычно оказывается ниже по сравнению с верхним слоем.

Интенсивные перемещения верхних слоев по сравнению с более статичными нижними слоями обусловлены значительным стратифицированием при действии вертикальных вибраций, генерируемых с ускорениями, превышающими $9,8 \text{ м/с}^2$. Это воздействие индуцирует переход сыпучего материала в состояние, где его поведение напоминает пластичную среду, с возможностью перемещения отдельных элементов, таких как фрукты или клубни, в пределах массы относительно друг друга. Данный процесс был зафиксирован с использованием высокоскоростной видеосъемки, с результатами, показывающими миграцию элементов из одного слоя в другой под воздействием вибраций с максимальной амплитудой 7,5 мм и частотой 6.7 Гц показанного на диаграмме 2. Из этой диаграммы видно, что особенно активно перемещались элементы из двух верхних слоев, что свидетельствует о высокой степени их мобильности, большей силе ударов, в результате чего возрастает вероятность их повреждения [6].

Данное исследование проводилось на экспериментальном стенде с использованием колебаний частотой 2.5 и 6.7 Гц, при этом амплитуды колебаний составляли 44 и 7.5 мм соответственно. В ходе экспериментов высота слоя яблок сорта "Антоновка" в цилиндре увеличивалась от одного слоя до девяти, достигая, таким образом, высоты 400-500 мм. Длительность каждого из тестов составляла 10 минут. Отчет о результатах представлен на рисунке 2.

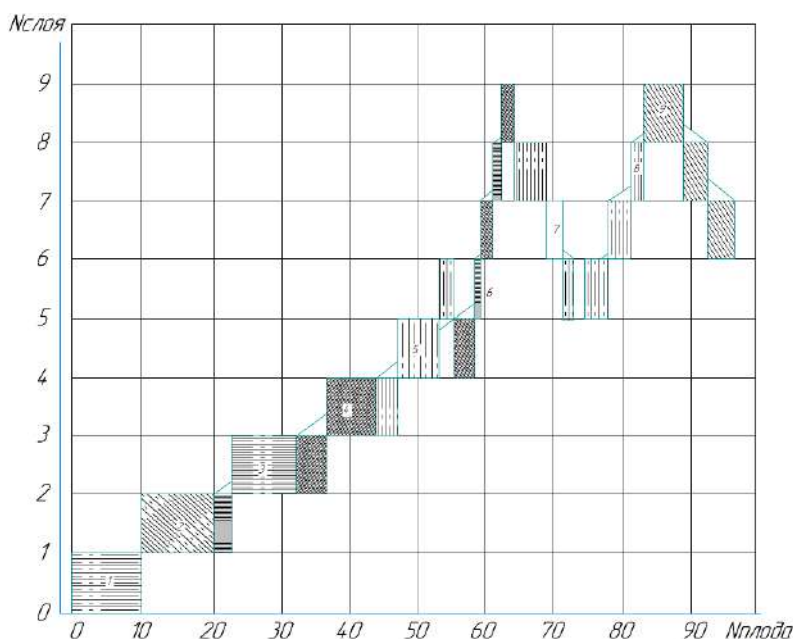


Рисунок 2 – Диаграмма перемещения плодов из слоя в слой при действии вертикальных колебаний ($f=6.7 \text{ Гц}$; $A_0 = 7.5 \text{ мм}$) в течение 10 минут

Figure 2 – Diagram of the movement of fruits from layer to layer under the action of vertical vibrations ($f = 6.7 \text{ Hz}$; $A_0 = 7.5 \text{ mm}$) for 10 minutes

В ходе экспериментов, проведенных при первом и втором режимах, было отмечено, что с повышением высоты загрузки происходит слабое увеличение уровня повреждений у фруктов, расположенных в верхнем слое, в то время как для нижнего слоя замечено значительное сокращение повреждений. Однако дальнейшее увеличение высоты упаковки для яблок (более 500 мм) способствует усилению повреждений, поскольку уже при высоте в 700 мм начинает наблюдаться увеличение повреждений у фруктов в нижнем слое из-за давления от тех, что расположены выше.

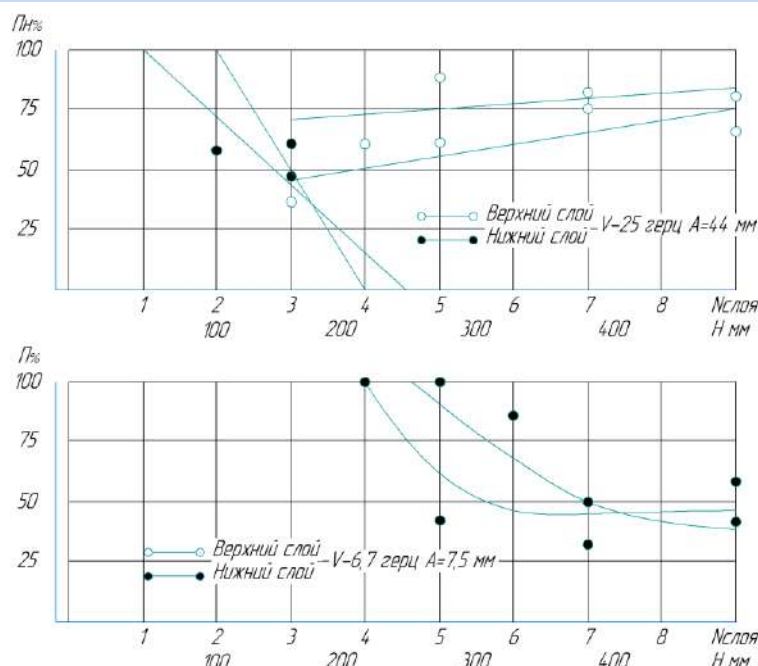


Рисунок 3 – Зависимость повреждения яблок "Антоновка" от высоты их загрузки при действии вертикальных колебаний

Figure 3 – Dependence of damage to Antonovka apples on the height of their loading under the action of vertical vibrations

Изучение различий в степени повреждений слоев продуктов и их связь с размерами упаковки выявили потребность в применении специализированных контейнеров для эффективной перевозки [3] в сельскохозяйственной деятельности. Примером может служить использование контейнера с размерами 500х500х500 мм для транспортировки яблок. Это подчеркивает преимущества перехода к контейнеризированным перевозкам [9] даже на уровне ферм, обеспечивая не только повышение эффективности загрузочно-разгрузочных операций за счет механизации процессов, но и значительное сокращение расходов на транспортировку.

Результаты и обсуждение. Исследование воздействия материалов упаковки на повреждаемость фруктов выполнялось с использованием оборудования для испытаний на колебательные и вибрационные нагрузки, а выводы исследования отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты проверки влияния упаковочных средств на повреждения плодов

Table 3 – Results of testing the effect of packaging materials on fruit damage

Частота колебаний (Герц) / Oscillation Frequency (Hertz)	Амплитуда колебаний (мм) / Amplitude of oscillations (mm)	Высота загрузки (мм) / Loading height (mm)	Упаковочные материалы / Packaging Materials	Повреждаемость (%) яблок Антоновка / Damage (%) of Antonovka apples					
				верхний слой / skim			нижний слой / understratum		
2.5	47	300	Без упаковки / Unpacked	-		100	18.2	54.5	
			Микропористая резина толщиной 5 мм / 5 mm thick microporous rubber	м	11.0	89,0	58,0	-	-
50	1	300	Без упаковки / Unpacked				-		100
			Бумажные заворачивки / Paper wrappers				-	12,5	87,5
			Слой упаковочной стружки толщиной 2 мм / 2 mm thick layer of packaging chips				тш	14	57
			Слой упаковочный стружки толщиной 2 мм и лист бумаги / 2 mm thick packing chip layer and sheet of paper				штт	14	57
29.5	1	300	Без упаковки / Unpacked	20		50	9,1	27,3	45,5
			Микропористая резина толщиной 5 мм / 5 mm thick microporous rubber	—	—	100	-	-	100

Изучение данных экспериментов показывает, что использование защитных материалов для упаковки эффективно снижает воздействие динамических нагрузок, особенно вызванных вибрациями. Это также приводит к уменьшению степени повреждения продуктов, расположенных в нижнем слое упаковки, благодаря смягчению ударов о жесткую основу. Однако в некоторых ситуациях отмечалось увеличение уровня повреждений.

Итак, использование упаковочных материалов в большинстве случаев благоприятно влияет на уменьшение механических повреждений. В процессе определения параметров для эксперимента необходимо провести аналитические вычисления или учитывать спектральную плотность распределения вариации вибраций, создаваемых транспортными средствами.

Изучение влияния механических колебаний на непакетированные фрукты и овощи, а также связанные с этим повреждения подтвердило важность выбора подходящей упаковки на основе детального математического анализа [7] ее размеров и конструкции, включая состав внутреннего покрытия. Этот процесс играет ключевую роль в комплексе мер, цель которых – гарантировать безопасность и сохранность агропродукции [11] в процессе транспортировки.

В ходе изучения механизмов поражения тканей плодов выявлено, что степень их деформации под влиянием внешних сил коррелирует с длительностью перевозки при одинаковых иных факторах. Отмечено, что связь между деформацией тканей и временем силового воздействия носит экспоненциальный характер.

Учитывая, что оценка поврежденности фруктов в реальной ситуации производится по размеру пораженных участков в мякоти и эти размеры зависят не только от механических свойств плодов [4], но также от их вращательных и поступательных движений под влиянием вибраций, удлинение времени подверженности вибрациям вызывает увеличение глубины и области поражения плодов.

Чтобы выяснить, как продолжительность перевозки [10] влияет на уровень повреждений яблок и картофеля, были осуществлены лабораторные испытания на вибрационном устройстве, имитирующем вертикальные колебания различной интенсивности. Данные испытаний занесены в таблицу.

Заключение. Исследование выявило непосредственную корреляцию между временем транспортировки и интенсивностью повреждений, выражающуюся почти пропорциональной зависимостью: чем дольше действуют вибрации и перемещения, тем тяжелее последствия. На начальном отрезке графика, где фиксируется отсутствие повреждений, его пересечение с осью абсцисс подкрепляет тезис об исчезающе малых повреждениях на ранних этапах перевозки. Этот паттерн получил подтверждение как в контролируемых лабораторных условиях, так и во время реальных полевых тестов. В частности, перемещение на небольшие расстояния, например, в пределах сельскохозяйственного угодья, оказывается менее губительным для груза по сравнению с долгими перевозками от складов к местам реализации. Коэффициенты трения для исследуемых образцов в контакте с использованными материалами определялись на их наиболее широкой грани, а также вертикально. В таблице 4 собраны средние показатели этих коэффициентов по пяти категориям образцов.

Таблица 4 – Исследование углов и коэффициентов трения яблок по различным материалам
Table 4 – Study of angles and coefficients of friction of apples for various materials

Материал / Material	Коэффициент трения скольжения, φ / sliding friction coefficient, φ						углы качения, α / Rolling angles, α	
	В плоскости поперечного диаметра / in a plane of transverse diameter		в плоскости высоты / in the plane of height		в плоскости поперечного диаметра / in a plane of transverse diameter		с чашечкой / with a cup	
	m_f	δ_f	m_f	δ_f	m_α	δ_α	m_α	δ_α
Алюминий / Aluminium	0,519	0,026	0,514	0,014	5,8	0,5	20,0	2,025
Сталь / Steel	0,463	0,021	0,506	0,026	6,0	0,3	20,6	0,353
Парусина / Sailcloth	0,455	0,021	0,463	0,021	5,8	0,2	19,4	1,436
Прорезиненная лента / Rubberized Tape	0,560	0,030	0,569	0,022	5,0	0,3	18,6	2,121
Поролон / Foam	0,966	0,016	0,961	0,026	5,0	0,3	17,2	1,212
Яблоко / Apple	0,843	0,045	0,795	0,033	-	-	-	-
Дерево / Tree	0,396	0,010	0,412	0,013	5,6	0,3	20,2	1,056

Было обнаружено, что углы трения при качении по большей части зависят от формы образца. Если катить образец с чашечкой, то вначале происходит скольжение по большинству материалов, которые были использованы в исследовании, демонстрируют схожую тенденцию: при небольшом угле наклона движение отсутствует, но при его увеличении начинается движение. Важно подчеркнуть, что при движении по поверхностям одинаковых материалов, значения коэффициентов трения для разнообразных образцов обычно наблюдаются в близких диапазонах и не демонстрируют значительных отличий.

Conclusions. The study revealed a direct correlation between the transportation time and the intensity of damage, expressed by an almost proportional dependence: the longer the vibrations and movements act, the more severe the consequences. At the initial section of the graph, where no damage is recorded, its intersection with the abscissa axis supports the thesis about vanishingly small damage at the early stages of transportation. This pattern was confirmed both in controlled laboratory conditions and during real field tests. In particular, transportation over short distances, for example, within agricultural land, turns out to be less destructive for the cargo compared to long transportation from warehouses to places of sale. The friction coefficients for the studied samples in contact with the used materials were determined on their widest edge, as well as vertically. Table 4 contains the average values of these coefficients for five categories of samples.

It was found that the rolling friction angles depend for the most part on the shape of the specimen. If you roll a sample with a cup, then at first there is a slide on most of the materials that were used in the study, which show a similar tendency: at a small angle of inclination, there is no movement, but when it increases, movement begins. It is important to emphasize that when moving on the surfaces of identical materials, the values of friction coefficients for various samples are usually observed in close ranges and do not show significant differences.

Библиографический список

1. Белю Л. П. и др. Исследование транспортировки яблок в таре по дорогам с различным покрытием. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 526-539.
2. Симдянкин А. А. и др. Сохранность плодов на внутрихозяйственных перевозках. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование 2020. № 2 (58). С. 346-356.
3. Голиков А. А. и др. Повышение эффективности внутрихозяйственных перевозок плодоовощной продукции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 429-439.
4. Успенский И. А. и др. Физико-механические свойства яблок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 364-373.
5. Антоненко М. В. и др. Влияние параметров колебаний автомобиля на повреждение плодоовощной продукции. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 198. С. 1-12.
6. Успенский И. А. и др. Воздействие колебаний плодоовощной продукции на ее повреждения. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 1. С. 155-162.
7. Успенский И. А. и др. Анализ проблем транспортировки сельскохозяйственной продукции. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 1. С. 147-154.
8. Шайтура С. В. и др. Некоторые аспекты точного земледелия. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 8. С. 21-34.
9. Симдянкин А. А., Белю Л. П. Оценка повреждаемости яблок в таре при их перевозке по дорогам с различным покрытием. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 4 (48). С. 113-121.
10. Лебедева Н. А., Белю Л. П. Формирование системы критериев и ограничений производственных процессов перевозки сельскохозяйственных грузов. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2017. № 2 (34). С. 106-111.
11. Успенский И. А. и др. Перспективы исследования колебательных движений автомобиля, влияющих на сохранность плодоовощной продукции, перевозимой в контейнерах. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15. № 3. С. 154-162.
12. Успенский И. А. и др. Исследование алгоритма динамического расчета для уменьшения факторов, усиливающих колебательные движения автомобилей, приводящие к порче перевозимой плодоовощной продукции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3(67). С. 487-497.

References

1. Belyu L. P. et al. Study of the transportation of apples in containers on roads with different surfaces. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 3 (71). Pp. 526-539.
2. Simdyankin A. A. et al. Preservation of fruits on on-farm transportation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education 2020. № 2 (58). Pp. 346-356.
3. Golikov A. A. et al. Improving the efficiency of on-farm transportation of fruit and vegetable products. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 2 (70). Pp. 429-439.
4. Uspensky I. A. et al. Physical and mechanical properties of apples. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. № 4 (76). Pp. 364-373.
5. Antonenko M. V. et al. Influence of the parameters of car vibrations on damage to fruit and vegetable products. Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2024. № 198. Pp. 1-12.

6. Uspensky I. A. et al. Impact of fluctuations of fruit and vegetable products on its damage. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2024. V. 16. № 1. Pp. 155-162.
7. Uspensky I. A. et al. Analysis of the problems of transportation of agricultural products. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2024. V. 16. № 1. Pp. 147-154.
8. Shaytura S. V. et al. Some aspects of precision agriculture. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021. № 8. Pp. 21-34.
9. Simdyankin A. A., Belyu L. P. Assessment of the damage to apples in containers during their transportation on roads with different coatings. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2020. № 4 (48). Pp. 113-121.
10. Lebedeva N. A., Belyu L. P. Formation of the system of criteria and restrictions of production processes for the transportation of agricultural cargoes. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2017. № 2 (34). Pp. 106-111.
11. Uspensky I. A., et al. Prospects for the study of oscillatory movements of an automobile, affecting the safety of fruit and vegetable products transported in containers. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2023. V. 15. № 3. Pp. 154-162.
12. Uspensky I. A., et al. Study of the algorithm of dynamic calculation for reducing factors that enhance the oscillatory movements of cars, leading to spoilage of transported fruit and vegetable products. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. № 3 (67). Pp. 487-497.

Информация об авторах

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Колотов Антон Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: anton.kolotov.89@mail.ru

Прибылов Дмитрий Олегович, аспирант, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), pribylov.dima@yandex.ru

Ушанев Александр Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: aushaniev@inbox.ru

Юмаев Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, ассистент, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yumaeb@yandex.ru

Authors' Information

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Kolotov Anton Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: anton.kolotov.89@mail.ru

Pribylov Dmitry Olegovich, postgraduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: pribylov.dima@yandex.ru

Ushanev Aleksander Igorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: aushaniev@inbox.ru

Yumaev Dmitry Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Assistant, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st., 1), e-mail: yumaeb@yandex.ru

Filyushin Oleg Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva St., 1), e-mail: olegfil93@

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-53

THE TREATMENT OF THE GRAIN SEEDS BEFORE SOWING IN THE ELECTRIC FIELD OF ALTERNATING CURRENT AND BIOLOGICAL FERTILIZER

¹Aksenov M. P., ¹Petrov N. Yu., ¹Lebed N. I., ¹Nekhoroshev D. D., ¹Chernyavsky A. N.,
¹Kostychev K. V., ²Petrov Yu. N.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Federal Scientific Center "Agroecology"
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 22.03.2025

Submitted 16.05.2025

The article was performed within the framework of the state assignment "Theoretical foundations and methodology for assessing the greenhouse gas balance in freshwater reservoirs in the arid conditions of southern Russia" (No. FNFE – 2025-0012).

Abstract

Introduction. Pre-sowing seed treatment is often a mandatory agricultural step in the technological map of growing crops. Classically, seed preparation is carried out by applying chemical or biological preparations to the seed shell in order to control pests, diseases, and also to stimulate growth processes. To reduce or

completely eliminate chemicals, there are alternative methods of pre-sowing treatment that can achieve a similar result. One of the most environmentally friendly is the use of a high-voltage alternating current electric field, but it is necessary to determine effective modes for specific crops and varieties. **Object.** Determination of effective regimes for complex pre-sowing treatment of wheat seeds of the Zernogradka 11 and Kapitan varieties in an electric field together with the application of biological fertilizers to the seed surface. **Materials and methods.** The complex effect of the high voltage alternating current electric field and biological fertilizers on the laboratory germination of winter wheat seeds Zernogradka 11 and Kapitan has been studied. **Results and conclusions.** The conducted studies allowed us to establish the optimal parameters of the electric field strength and the time of exposure to seeds in the laboratory. Laboratory germination under the combined effect of high-voltage EPT of 5 kV kV and exposure of 45-60 seconds together with biological fertilizers exceeds the control by 9-10% in two wheat varieties Zernogradka 11 and Kapitan. A model of an electrotechnological installation for complex pre-sowing treatment of grain seeds is proposed.

Keywords: pre-sowing seed treatment, biological fertilizers, winter wheat, seed germination, seed treatment with electric current.

Citation. Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Lebed N. I., Nekhoroshev D. D., Chernyavsky A. N., Kostychev K. V., Petrov Yu. N. The treatment of the grain seeds before sowing in the electric field of alternating current and biological fertilizer. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 471-478 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-53.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.8:633.11:537.8:581.142

ОБРАБОТКА СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПЕРЕД ПОСЕВОМ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И БИОЛОГИЧЕСКИМ УДОБРЕНИЕМ

¹Аксенов М. П., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Лебедь Н. И., доктор технических наук, профессор

¹Нехорошев Д. Д., кандидат технических наук, доцент

¹Чернявский А. Н., кандидат технических наук, доцент

¹Костычев К. В., старший преподаватель

²Петров Ю. Н., старший научный сотрудник

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²ФГБНУ ФНЦ «Агроэкология»

г. Волгоград, Российская Федерация

Статья выполнена в рамках государственного задания «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России» (№ FNFE – 2025-0012).

Актуальность. Предпосевная обработка семян часто является обязательным агроприемом в технологической карте выращивания сельскохозяйственных культур. Классически подготовка семян осуществляется путем нанесения на оболочку семени химических или биологических препаратов с целью борьбы с вредителями, болезнями, а также для стимулирования ростовых процессов. Для снижения или полного исключения химических препаратов существуют альтернативные методы предпосевной обработки, позволяющие достигать аналогичного результата. Одним из экологически чистых является применение электрического поля переменного тока высокого напряжения, однако требуется определить эффективные режимы для конкретных культур и сортов. **Объект.** Определение эффективных режимов при комплексной предпосевной обработке семян пшеницы сортов Зерноградка 11 и Капитан в электрическом поле совместно с нанесением на поверхность семян биологических удобрений. **Материалы и методы.** Изучено комплексное влияние электрического поля переменного тока высокого напряжения и биологических удобрений на лабораторную всхожесть семян озимой пшеницы Зерноградка 11 и Капитан. **Результаты и выводы.** Проведенные исследования позволили лабораторным способом установить оптимальные параметры напряженности электрического поля и времени воздействия на семена. Лабораторная всхожесть при комплексном воздействии ЭПТ ВН напряженностью 5 кВ кв и экспозиции 45-60 секунд совместно с биологическими удобрениями превышает контроль на 9-10 % у двух сортов пшеницы Зерноградка 11 и Капитан. Предложена модель электротехнологической установки для комплексной предпосевной обработки семян зерновых культур.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, биологические удобрения, озимая пшеница, всхожесть семян, обработка семян электрическим током.

Цитирование. Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Лебедь Н. И., Нехорошев Д. Д., Чернявский А. Н., Костычев К.В., Петров Ю. Н. Обработка семян зерновых культур перед посевом в электрическом поле переменного тока и биологическим удобрением. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 471-478. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-53.

Авторский вклад. Представленный авторский коллектив данных исследований принимал непосредственное участие в планировании, закладке, проведении опытного эксперимента и обработке результатов исследований. Все авторы настоящей статьи ознакомлены с ее содержанием и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Традиционными методами, включенными в технологическую карту возделывания культурных растений, является предпосевная подготовка семян. Обработка необходима для уничтожения болезней и стимуляции ростовых процессов за счет получения семенем питательных веществ [1, 2]. Достоинствами применения биологических удобрений кроме увеличения урожайности, это восстановление плодородия пахотного почвенного горизонта [3, 4]. Применяются химические, биохимические и биологические препараты [5], существуют и альтернативные способы, применяемые как самостоятельно, так и в комплексе с традиционными методами обработки [6].

Научные исследования в области поиска альтернативных способов предпосевной подготовки семян сельскохозяйственных культур активно проводились еще в 50-60-х годах 20 века. Учеными применялись различные способы внешних воздействий на семена (инфракрасное излучение, ультрафиолетовое излучение, электромагнитные волны, звуковые волны, газовые смеси и т.д.) [7-12] с целью снижения патогенной микрофлоры на поверхности и внутри семени [13], активно влияющих на всхожесть, повышение энергии прорастания и, как результирующее следствие – повышение урожайности культуры, качественных показателей в области хранения и переработки, снижения производственных затрат на получение продукции с единицы площади. Электрофизические воздействия при рациональных режимах обработки практически показывают одинаковые результаты по прибавке урожая, поэтому при выборе того или иного способа руководствуются техническими возможностями реализации, стоимости изготовления установки, наличия квалифицированного обслуживающего персонала, безопасности оператора при работе и экологичности полученной продукции. При современном растениеводстве, когда для борьбы с болезнями применяются пестициды, а для количественных показателей урожайности – внесение в почву минеральных удобрений, представленных тремя основными элементами (калий, азот и фосфор), с каждым годом приводит к загрязнению окружающей среды, уплотнению почвы, накоплению в почве тяжелых металлов, повышению кислотного состава почвы, оказывая неблагоприятные и необратимые процессы, приводящие к изменению количества и видов почвенных микроорганизмов [14]. Все эти факторы при комплексном рассмотрении стимулируют тенденции в научном кругу к поиску новых, современных, безопасных, экологически чистых решений для обеззараживания семенного посевного материала, повышения кондиционных качеств семян [15]. Для этого необходимы разработки эффективных технологий, которые будут отвечать современным требованиям в области безопасности, экологической чистоты и рационального применения.

Электротехнологическим способом является обработка семян в электрическом поле переменного тока высокого напряжения (ЭППТ ВН) [16-20]. Достоинством относительно других методов является простота изготовления и обслуживания, стоимость и доступность приобретения необходимых компонентов для промышленного изготовления установки. Недостаток данного способа, как и всех других основанных на электрическом поле, – высокий риск поражения электрическим током оператора установки и другого персонала, не имеющего допуска по электробезопасности, но работающего в непосредственной близости установки.

Материалы и методы. Основными кондиционными качествами семян являются:

- полевая всхожесть, характеризующаяся количеством взойшедших семян к количеству высеваемых, %;
- скорость прорастания, характеризующаяся количеством дней от посева до наступления фазы, характеризующей всхожесть, дней;
- дружность всходов, характеризует одновременность всхода семян.

Одним из дополнительных кондиционных качеств семян при лабораторном исследовании является скорость и количество потребляемой воды за промежуток времени и, как следствие, скорость набухания семени, проклеивание и прорастание. Электрическое по-

ле переменного тока, проходя через семя, оказывая воздействия на мембраны клеток, частично их деформирует, что, в свою очередь, изменяет их проницаемость, провоцируя на перекачивание воды из окружающей среды внутрь клеток. Если семена при этом обработаны биологическими удобрениями в виде нанесения вещества на поверхность семени, данное вещество высыхает и сохраняется в неизменном виде, при этом никак не оказывает стимулирующего эффекта. При попадании семени в благоприятную среду для запуска процессов активации роста, а именно наличия влаги в достаточном количестве препарат растворяется с водой и поступает в семя. Как уже выше было сказано, электрическое поле стимулирует клетки семени более интенсивно потреблять влагу, следовательно, если на поверхности семени будет какой-либо биопрепарат или регулятор сорта, эти питательные вещества так же будут более интенсивно поступать вместе с водой в клетки. Комплексная обработка семян путем нанесения на поверхность биоудобрений и электрического воздействия, может оказывать двойной стимулирующий эффект, при этом имеет существенное преимущество в области экологичности. Ранее проведенные на первом этапе лабораторные исследования с целью определения эффективных режимов воздействия ЭППТ ВН позволили установить режим, при котором достигнуты максимальные показатели по энергии прорастания и лабораторной всхожести семян озимой пшеницы (96 %) – напряженность 5 кВ/см, время обработки от 45 до 60 секунд.

Результаты и обсуждения. При проведении настоящих опытов семена озимой пшеницы проращивались с целью определения лабораторной всхожести после проведения комплексной обработки ЭППТ ВН и биологическими удобрениями. Перед помещением семян в камеру для электрообработки, выполняли мероприятия по нанесению на поверхность семян биологических удобрений в концентрации, установленной производителем для данной культуры, с последующей подсушкой. Схема проведенных опытов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – лабораторная всхожесть семян озимой пшеницы в зависимости от способа предпосевной обработки

Table 1 – laboratory germination of winter wheat seeds depending on the method of pre-sowing treatment

Вариант опыта / Experience option	Лабораторная всхожесть озимой пшеницы, % / Laboratory germination of winter wheat, %	
	Зерноградка 11 / Zernogradka 11	Капитан / Captain
Контроль (обработка не выполнялась) / Control (no processing was performed)	88	90
ЭППТ ВН / APPT VN	94	97
Биоудобрение Гуми-90 / Biofertilizer Gumi-90	93	94
Биоудобрение Теллура-М / Biofertilizer Tellurium-M	92	93
ЭППТ ВН+ Гуми-90 / EPT VN+ Gumi-90	98	99
ЭППТ ВН+ Теллура-М / EPT VN+ Tellurium-M	97	98

За контроль были взяты семена двух сортов мягкой озимой пшеницы (Зерноградка 11, Капитан), которые не подвергались обработке, семена помещались на проращивание в термостат, результаты представлены в таблице 1, эффект по лабораторной всхожести получен приблизительно одинаковый – 88 % у сорта Зерноградка 11 и 90 % у сорта Капитан. При обработке на варианте опыта с ЭППТ ВН получены показатели по всхожести, идентичные ранее проведенным экспериментам (94-97 %), что уже свидетельствует о повторяемости результатов. Из биологических удобрений лучший результат на двух сортах пшеницы был у Гуми-90 (всхожесть повысилась относительно контроля на 4-5 %), удобрение Теллура-М также неплохо себя зарекомендовало, повысив лабораторную всхожесть на 3-4 %. Комплексная обработка семян пшеницы биологическими удобрениями и электрофизическим воздействием позволяет добиваться максимальной лабораторной всхожести – 98-99 %. Для реализации обработки семян зерновых культур комплексным способом необходима разработка технологической линии, позволяющей производить подготовку семенного материала в промышленных масштабах. Проведенный патентный поиск позволил выбрать за прототип наиболее перспективное конструктивное решение типа транспортной ленты, на которой передвигаются семена, попадая в зону действия электрического поля.

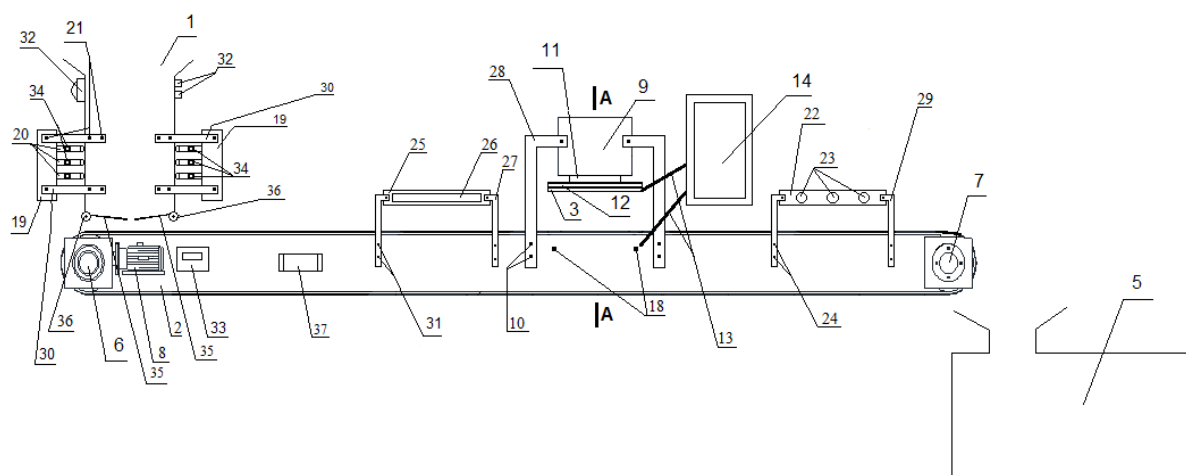


Рисунок 1 – Общий вид установки комплексной обработки семян зерновых культур
Figure 1 – General view of the complex grain seed treatment plant

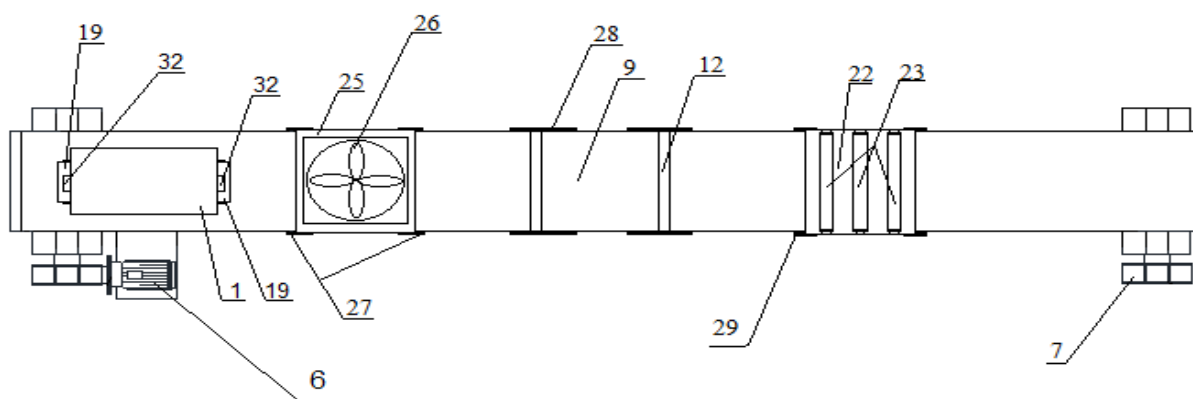


Рисунок 2 – Вид сверху установки комплексной обработки семян зерновых культур
Figure 2 – Top view of a complex grain seed treatment plant

Технический результат, который ожидается от предлагаемой установки для комплексной обработки, заключается в повышении всхожести семян за счет активации их метаболических процессов, снижении бактериальной обсемененности на поверхности, улучшении устойчивости семян к стрессовым условиям, таким как засуха, низкие температуры и токсичность почвы, снижении энергоемкости процесса обработки, а также обеспечении равномерного распределения семян и точного нанесения биологических реагентов, ускоряющих рост.

На рисунке 1 изображен общий вид установки комплексной обработки семян, на рисунке 2 изображен вид сверху данной установки.

Устройство состоит из: загрузочного бункера 1, ленточного транспортера 2, фазного 3 и нулевого 4 электродов из нержавеющей стали, приемной емкости 5, приводного 6 и натяжного 7 барабанов, трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором 8, ручного гидравлического домкрата 9, разборного соединения 10, платформы 11, стеклотекстильной прокладки 12, медного провода 13, однофазного источника тока 14, диэлектрической платформы 15 из гетинакса, полиамидных вытяжных заклепок 16, стеклотекстильных уголков 17, полиамидных вытяжных заклепок 18, распылительной камеры 19, механических форсунок вверного типа 20, разборного соединения 21, инфракрасного светильника 22, инфракрасных ламп 23, разборного соединения 24, корпуса вентилятора 25, четырех лопастного вентилятора 26, диэлектрических кронштейнов 27 крепления корпуса вентилятора 25, диэлектрических уголков 28 крепления ручного гидравлического домкрата 9, диэлектрических кронштейнов 29 крепления инфракрасного светильника 22, диэлектрических кронштейнов 30 крепления распылительной камеры 19, разборного соединения 31, системы автоматической регулировки влажности, содержащей оптические датчики влажности 32, контроллер 33 и электромагнитные клапаны 34, заслонок 35 с сервоприводами 36, частотного преобразователя 37.

Принцип работы установки следующий: семена засыпаются в загрузочный бункер 1, внутри которого сверху встроены оптические датчики влажности 32, непрерывно отслеживающие уровень влажности семян и передающие данные на контроллер 33, установленный на ленточном транспортере 2. Контроллер 2 в режиме реального времени анализирует данные и при необходимости подает команды на электромагнитные клапаны 34, установленные на механических форсунках веерного типа 20. Электромагнитные клапаны 34 регулируют объем и интенсивность распыления биологического удобрения, который выполняет функцию ускорителя роста, обеспечивая тем самым точное смачивание семян. Если влажность семян недостаточна, то электромагнитные клапаны 34, установленные на механических форсунках веерного типа 20, открываются сильнее и интенсивнее распыляют необходимое количество биологического удобрения, который выполняет функцию ускорителя роста. Далее семена подвергшиеся смачиванию необходимым количеством биологического удобрения, содержащего в распылительной камере 19, закрепленной к загрузочному бункеру 1 при помощи разборного соединения 21 с помощью диэлектрических кронштейнов 30, из загрузочного бункера 1 порционно подаются на ленточный транспортер 2 через заслонки 35 с сервоприводами 36, обеспечивающими равномерность потока семян. Далее семена равномерно распределяются по движущемуся ленточному транспортеру 2, скорость которого регулируется частотным преобразователем 37, интегрированным в цепь управления трехфазным асинхронным электродвигателем 8. Это позволяет точно настраивать производительность устройства, осуществлять плавный пуск, минимизировать нагрузку на ленточный транспортёр как в целом, так и на отдельные его узлы, а также снизить энергоёмкость процесса. Семена перемещаются под корпус вентилятора 25, жестко закрепленного разборным соединением 31 к ленточному транспортёру 2 при помощи диэлектрических кронштейнов 27, а сам четырехлопастной вентилятор 26 оказывает на семена конвекционное воздействие, обеспечивая их предварительное подсушивание. Это предотвращает слипание и избыточное увлажнение семян, сохраняя их структуру и подготавливая их к следующему этапу обработки, который заключается в электромагнитном воздействии. Порция семян, прошедшая конвективное воздействие четырехлопастного вентилятора 26, перемещается под ручной гидравлический домкрат 9, жестко закреплённый разборным соединением 10 с ленточным транспортёром 2 при помощи диэлектрических уголков 28, к платформе 11 ручного гидравлического домкрата 9 закреплён через стеклотекстолитовую прокладку 12 фазный электрод 3 из нержавеющей стали, который имеет соединение посредством медного провода 13 с однофазным источником тока 14. Ручной гидравлический домкрат 9 регулирует зазор между фазным 3 и нулевым 4 электродами, создавая необходимую напряженность электрического поля. Воздействие поля промышленной частоты уничтожает бактериальную обсемененность, активирует физиологические процессы и улучшает всхожесть семян. На заключительном этапе семена перемещаются под инфракрасные лампы 23 инфракрасного светильника 22, жестко закреплённого разборным соединением 24 к ленточному транспортёру 2 при помощи диэлектрических кронштейнов 29, где подвергаются окончательной сушке до уровня влажности, регламентируемого стандартами хранения предпосевного материала. Подсушенные семена направляются в приемную емкость 5 для последующего хранения или транспортировки. Цикл обработки порций семян происходит последовательно и непрерывно. За обработанной порцией семян следует ещё не обработанная порция и проходит все этапы обработки. Устройство обеспечивает высокую эффективность обработки за счет реализации нанесения на поверхность семян биологических удобрений, электрической обработки и инфракрасного досушивания. Эти функции позволяют улучшить качественные характеристики семян, повысить их всхожесть, уничтожить бактериальную обсемененность, снизить энергозатраты и увеличить сроки хранения обработанных семян.

Выводы. Проведенные исследования позволили лабораторным способом установить оптимальные параметры напряженности электрического поля и времени воздействия на семена. Лабораторная всхожесть при комплексном воздействии ЭППТ ВН напряженностью 5 кВ/кв при экспозиции от 45 до 60 секунд совместно с биологическими удобрениями нанесёнными на поверхность семян превышает контроль на 9 % у сорта Капитан и на 10 % у сорта Зерноградка 11. Предложена модель электротехнологической установки для комплексной предпосевной обработки семян зерновых культур, позволяющей в непрерывном процессе вести обработку семян электрическим полем и биологическими удобрениями.

Conclusions. The conducted studies allowed us to establish the optimal parameters of the electric field strength and the time of exposure to seeds in the laboratory. Laboratory germination under the combined effect of 5 kV kV EPT with an exposure of 45 to 60 seconds together with biological fertilizers applied to the surface of seeds exceeds the control by 9 % for the Kapitan variety and by 10 % for the Zernogradka 11 variety. A model of an electrotechnological installation for complex pre-sowing treatment of grain seeds is proposed, which allows for continuous process control seed treatment with electric field and biological fertilizers.

Библиографический список

1. Гретченко А. Е., Михайлова М. П., Серебренникова Ю. О. Формирование продуктивности сои сорта Журавушка при использовании биопрепаратов и гербицидов в условиях Приамурья. Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 6. С. 55-60.
2. Мухитов Л. А. Использование биоудобрений в технологии семеноводства яровой мягкой пшеницы в степи Южного Урала. Земледелие. 2023. № 8. С. 40-43.
3. Буряк С. М., Черникова О. В., Мажайский Ю. А. Восстановление плодородия малопродуктивных дерново-подзолистых почв, вновь вводимых в сельскохозяйственный оборот. Вестник КрасГАУ. 2024. № 1 (202). С. 56-63.
4. Дегтярева И. А. и др. Оценка действия удобрений нового поколения на микробный ценоз ярового рапса. Агрохимический вестник. 2022. № 5. С. 65-69.
5. Кравец А. В. Совместная предпосевная обработка семян пшеницы гуминовым и бактериальным препаратами. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 5-4 (80). С. 182-184.
6. Гришечкина Л. Д. и др. Предпосевная обработка семян зерновых колосовых культур. Защита и карантин растений. 2023. № S1. С. 34-80.
7. Трапезников А. И., Казакова А. С., Донцова В. Ю. Предпосевная обработка семян ярового ячменя электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты. Активная честолубивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. 2024. № 1 (16). С. 77-85.
8. Глубоков М. В., Абубакаров А. Г., Шкуркин С. И. Предпосевная обработка семян электромагнитным полем сверхвысокой частоты при организации государственных закупок Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 9 (103). С. 151-163.
9. Рубцова Е. И. и др. Предпосевная обработка семян кориандра лазерным излучением. Сельский механизатор. 2024. № 10. С. 41-43.
10. Крылов О. Н. и др. Предпосевная оптическая обработка семян зерновых культур на примере озимой ржи «Фаленская 4». Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 214-230.
11. Страхов В. Ю., Вендин С. В., Саенко Ю. В. Предпосевная УФ-обработка семян сои: проращивание на витаминный корм. Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 6. С. 46-52.
12. Зацаринная И. А. и др. Предпосевная обработка семян электромагнитным полем. Приднепровский научный вестник. 2024. Т. 3. № 4. С. 157-159.
13. Степанчук Г. В., Протасова Н. А. Комбинированная предпосевная обработка семян как способ их обеззараживания. Агротехника и энергообеспечение. 2023. № 4 (41). С. 122-127.
14. Карташов В. С., Кулешова Л. А., Татьянченко И. С. Предпосевная обработка семян озимой мягкой пшеницы микроудобрениями нового поколения в условиях Ростовской области. Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. 2024. № 8. С. 45-48.
15. Дринча В. М. и др. Микробная обработка семян овса с помощью мобильного устройства и её влияние на урожайность зелёной массы в условиях Центральной Якутии. Кормопроизводство. 2023. № 10. С. 17-20.
16. Aksenov M. P., Petrov N. Y., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. Influence of pre-sowing sunflower seeds treatment in electric field and plant growth stimulant on water consumption and yield. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Zernograd, 2021. P. 012040.
17. Aksenov M. P., et al. The growth and development depending on the pre-sowing sunflower treatment method in the southern chestnut soils zone of the Volgograd region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Novoivanovskoye, 2021. P. 012016.
18. Aksenov M. P., Petrov N. Y., Belyaev A. I., Petrov Yu. N. Improving the conditioned qualities of sunflower seeds by pre-sowing treatment with a pulsed electric field. Agrarian Science - 2023 (AgriScience2023): Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference. Moscow: EDP Sciences, 2023. V. 66. P. 01009.
19. Юдаев И. В. и др. Эффективные режимы предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле переменного напряжения. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 2 (43). С. 3-8.
20. Кузнецов В. И., Трутнев И. В. Разработка и исследование установки для предпосевной стимуляции семян переменным электрическим полем низкой частоты. Приднепровский научный вестник. 2024. Т. 8. № 3. С. 50-53.

References

1. Gretchenko A. E., Mikhailova M. P., Serebrennikova Y. O. Formation of Productivity of Zhuravushka Soybeans Using Biological Preparations and Herbicides in the Amur Region. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2023. V. 37. № 6. Pp. 55-60.
2. Mukhitov L. A. Use of biofertilizers in the technology of seed production of spring soft wheat in the steppe of the Southern Urals. Agriculture. 2023. № 8. Pp. 40-43.
3. Buryak S. M., Chernikova O. V., Mazhaisky Y. A. Restoration of Fertility of Low-Productive Sod-Podzolic Soils Newly Introduced into Agricultural Circulation. Vestnik KrasSAU. 2024. № 1 (202). Pp. 56-63.
4. Degtyareva I. A. Assessment of the effect of new generation fertilizers on the microbial cenosis of spring rapeseed. Agrochemical Bulletin. 2022. № 5. Pp. 65-69.
5. Kravets A. V. Joint pre-sowing treatment of wheat seeds with humic and bacterial preparations. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2023. № 5-4 (80). Pp. 182-184.

6. Grishechkina L. D. et al. Pre-sowing treatment of seeds of cereal spiked crops. Plant protection and quarantine. 2023. № S1. Pp. 34-80.
7. Trapeznikov A. I., Kazakova A. S., Dontsova V. Y. Pre-sowing treatment of spring barley seeds with an electric field of alternating voltage of industrial frequency. Active ambitious intellectual youth in agriculture. 2024. № 1 (16). Pp. 77-85.
8. Glubokov M. V., Abubakarov A. G., Shkurkin S. I. Pre-sowing Seed Treatment by Ultra-High Frequency Electromagnetic Field in the Organization of Public Procurement Economics, Labor, Management in Agriculture. 2023. № 9 (103). Pp. 151-163.
9. Pre-sowing treatment of coriander seeds with laser radiation. Rural machine operator. 2024. № 10. Pp. 41-43.
10. Krylov O. N. et al. Pre-sowing optical treatment of seeds of grain crops on the example of winter rye "Falsenskaya 4". Storage and processing of agricultural raw materials. 2023. № 2. Pp. 214-230.
11. Strakhov V. Yu., Vendin S. V., Saenko Y. V. Pre-sowing UV treatment of soybean seeds: germination for vitamin feed. Agricultural engineering. 2023. V. 25. № 6. Pp. 46-52.
12. Zatsarinnaya I. A. et al. Pre-sowing seed treatment with an electromagnetic field. Prydniprovsky Scientific Bulletin. 2024. V. 3. № 4. Pp. 157-159.
13. Stepanchuk G. V., Protasova N. A. Combined pre-sowing seed treatment as a method of their disinfection. Agricultural technology and energy supply. 2023. № 4 (41). Pp. 122-127.
14. Kartashov V. S., Kuleshova L. A., Tatyanchenko I. S. Pre-sowing treatment of winter soft wheat seeds with new generation microfertilizers in the Rostov region. Young Science of the Agrarian Don: Traditions, Experience, Innovations. 2024. № 8. Pp. 45-48.
15. Drincha V. M. et al. Microbial treatment of oat seeds using a mobile device and its impact on the yield of green mass in the conditions of Central Yakutia. Fodder production. 2023. № 10. Pp. 17-20.
16. Aksenov M. P., Petrov N. Y., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. Influence of pre-sowing sunflower seeds treatment in electric field and plant growth stimulant on water consumption and yield. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Zernograd, 2021. P. 012040.
17. Aksenov M. P., et al. The growth and development depending on the pre-sowing sunflower treatment method in the southern chestnut soils zone of the Volgograd region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Novoivanovskoye, 2021. P. 012016.
18. Aksenov M. P., Petrov N. Y., Belyaev A. I., Petrov Yu. N. Improving the conditioned qualities of sunflower seeds by pre-sowing treatment with a pulsed electric field. Agrarian Science - 2023 (AgriScience2023): Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference. Moscow: EDP Sciences, 2023. V. 66. P. 01009.
19. Yudaev I. V. et al. Effective modes of pre-sowing treatment of sunflower seeds in an electric field of alternating voltage. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2021. V. 68. № 2 (43). Pp. 3-8.
20. Kuznetsov V. I., Trutnev I. V. Development and Study of a Device for Pre-Sowing Stimulation of Seeds by a Low-Frequency Alternating Electric Field. Prydniprovsky Scientific Bulletin. 2024. V. 8. № 3. Pp. 50-53.

Информация об авторах

Аксенов Михаил Петрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26.), e-mail: technolog_16@mail.ru

Лебедь Никита Игоревич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Нехорошев Дмитрий Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26.), e-mail: ndd.volgau@yandex.ru

Чернявский Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru

Костычев Константин Владимирович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: kostya-kostychev@mail.ru

Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97).

Authors' Information

Aksenov Mikhail Petrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: technolog_16@mail.ru

Lebed Nikita Igorevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Nekhoroshev Dmitry Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: ndd.volgau@yandex.ru

Chernyavsky Aleksey Nikolaevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru

Kostychev Konstantin Vladimirovich, Senior Lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: kostya-kostychev@mail.ru

Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FNC Agroecology RAS), (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97).

THE ANALYSIS OF THE TEXTUAL INFORMATION ON ELIMINATION OF OUTAGES IN 0.4 kV RURAL POWER NETWORKS USING LATENT SEMANTIC ANALYSIS AND CLUSTERING**Bolshev V. E.***Federal Scientific Agroengineering Center «VIM»
Moscow, Russian Federation*Corresponding author E-mail: vadimbolshev@gmail.com

Received 17.01.2025

Submitted 16.04.2025

Summary

The article presents the results of latent-semantic and cluster analyses of text information on the progress of eliminating emergency outages presented in the log of emergency and planned outages in rural 0.4 kV electrical networks. The results of the research indicate the promise of using machine learning methods to automate the identification of power outage causes in 0.4 kV rural electrical networks based on the text information about the progress of eliminating outages.

Abstract

Introduction. The lack of standardized rules for assessing the technical condition of equipment in rural 0.4-10 kV electrical networks as well as the low qualifications of the personnel servicing this equipment lead to unsatisfactory execution of work reporting documentation, hence not allowing for a reliable and consistent analysis of received information. Therefore, the use of technical tools that allow bypassing the human factor will eliminate the problem of accurate identification of outage cause and thereby increase the measures' efficiency so as to reduce the number of outages in rural electrical networks. The purpose of the study is to conduct latent-semantic and cluster analyses of text information on the progress of eliminating emergency outages presented in the log of emergency and planned outages in rural 0.4 kV electrical networks. **Materials and methods.** The data under study was taken from the log of emergency and planned outages in the electrical networks of one of the central regions of the Russian Federation for 2018-2020, containing all cases of emergency power outages on 0.4 kV power transmission lines within rural areas. The stages of the study included the preparation of a corpus of documents and its processing, the creation of a vector documents' representation of the corpus, and the subsequent dimensional reduction of the vector space using the singular value decomposition method, cluster analysis, visualization of the obtained results and their analysis. **Results and conclusion.** The analysis of the frequency of term (word) occurrence in the corpus of documents (using the bag-of-words method) and their importance (using the TF-IDF common weighting method) allowed identifying terms that characterize certain outage causes. Cluster analysis by the k-means method on the vector space of documents representing records from the log of emergency and planned outages grouped documents around 40 clusters, which allowed identifying patterns inherent in a certain description of the causes of accidents. This number of clusters was selected based on the values of intra-cluster variance, silhouette coefficient, and Davis-Boldin index. Visualization of the clustering results by the stochastic neighbor embedding method with t-distribution demonstrated a high degree of semantic similarity for documents within each cluster. The results of this study indicate the promise of using machine learning methods to automate the identification of power outage causes in 0.4 kV rural electrical networks based on the text information about the progress of eliminating outages.

Keywords: rural electrical networks, causes of emergency power outages, emergency outages log, latent semantic analysis (LSA), cluster analysis, vector representation of text documents, frequency analysis, word importance analysis.

Citation. Bolshev V. E. The analysis of the textual information on elimination of outages in 0.4 kV rural power networks using latent semantic analysis and clustering. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 479-493 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-54.

Author's contribution. The author of this research paper has directly participated in the planning, execution, or analysis of this study.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

УДК 31.6:621.311.16:621.316.1:004.912:004.933

АНАЛИЗ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ УСТРАНЕНИИ ОТКЛЮЧЕНИЙ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОСЕТЯХ 0,4 кВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАТЕНТНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И КЛАСТЕРИЗАЦИИ**Большев В. Е., кандидат технических наук***ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ"
г. Москва, Российская Федерация*

Актуальность. Отсутствие стандартизированных правил оценки технического состояния оборудования сельских электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ, а также зачастую низкая квалификация персонала, обслуживающего данное оборудование, приводят к неудовлетворительному

оформлению отчетной документации о выполненных работах, что не позволяет проводить достоверный и непротиворечивый анализ полученной информации. Поэтому использование технических решений, позволяющих обойти человеческий фактор, позволит устранить проблему точной идентификации причины аварий и тем самым повысить эффективность проведения мероприятий по снижению числа отключений в сельских электрических сетях. Цель исследования заключается в проведении латентно-семантического и кластерного анализов текстовой информации о ходе устранения аварийных отключений, представленной в журнале учета аварийных и плановых отключений в сельских электрических сетях напряжением 0,4 кВ. **Материалы и методы.** В данном исследовании в качестве изучаемых данных взята информация из журнала учета аварийных и плановых отключений в электрических сетях одного из центральных регионов РФ за 2018-2020 гг., содержащие все случаи аварийных отключений электроэнергии в сельской местности на линиях электропередачи напряжением 0,4 кВ. Этапы проведения исследования включили в себя подготовку корпуса документов и его обработку, создание векторного представления документов данного корпуса и последующего снижения размерности векторного пространства методом сингулярного разложения, кластерный анализ, визуализацию полученных результатов и их анализ. **Результаты и выводы.** Анализ частотности встречаемости терм (слов) в корпусе документов (методом «мешок слов») и их важности (методом общего взвешивания TF-IDF) позволил выявить термы (слов), характеризующих определенные причины отключений. Кластерный анализ, проведенный методом k-средних, на векторном пространстве документов, представляющих записи из журнала учета аварийных и плановых отключений, сгруппировал документы вокруг 40 кластеров, что позволило выявить паттерны, присущие определенному описанию причин аварий. Такое количество кластеров выбрано, основываясь на значениях внутрикластерной дисперсии, коэффициента силуэта, индекса Дэвиса-Болдина. Визуализация результатов кластеризации методом стохастического вложения соседей с t-распределением продемонстрировала высокую степень семантической близости для документов внутри каждого кластера. Результаты данного исследования свидетельствуют о перспективности использования методов машинного обучения для автоматизации идентификации причин отключений электроэнергии в сельских электрических сетях 0,4 кВ на основе текстовой информации о ходе устранения отключений.

Ключевые слова: сельские электрические сети, причины аварийных отключений электроэнергии, журнал учета аварийных отключений, латентно-семантический анализ (ЛСА), кластерный анализ, векторное представление текстовых документов, частотный анализ, анализ важности слов.

Цитирование. Большев В. Е. Анализ текстовой информации об устранении отключений в сельских электросетях 0,4 кВ с использованием латентно-семантического анализа и кластеризации. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 479-493. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-54.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Согласно Методике оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей, утвержденной приказом Минэнерго России от 26 июля 2017 г № 676, оценка технического состояния не регламентируется для объектов электроэнергетики классом напряжения ниже 35 кВ [1]. Определение состояния данного оборудования производится внутренними нормативными документами организаций, которые могут иметь некоторые различия в методике их проведения. Однако отсутствие стандартизированных правил оценки технического состояния электрооборудования напряжением 0,4-10 кВ приводит к различным результатам в отчетной документации, которые не позволяют провести достоверный и непротиворечивый анализ полученной информации [2]. Данная проблема усугубляется зачастую и низкой квалификацией персонала, задействованного в обслуживании данного оборудования, что прослеживается в качестве оформления отчетной документации о выполненных работах.

Одним из примеров данной проблемы является учет аварийных и плановых отключений в сельских электрических сетях, который ведется центром управления сетями (диспетчерской службой) в специализированном журнале электросетевых компаний. В данном журнале содержится информация о виде технологического отключения, о его месте, дате и времени прекращения и восстановления электроснабжения потребителей, количестве обесточенных потребителей, трансформаторных подстанций, а также описание причин отключений и работы релейной защиты. Большая часть технической информации в журнале стандартизирована и не вызывает больших проблем, однако описание хода устранения отключений (и работы релейной защиты) описывается в относительно произвольном по-

рядке в результате оперативных переговоров с ремонтными бригадами, устраняющими отключения электроэнергии. Это приводит к неточностям используемых формулировок, ошибкам, а также пропуску важной информации, не сообщенной ремонтными бригадами. Искажение данной информации вместе с загруженностью и зачастую недостаточной квалификацией персонала центров управления сетями, расшифровывающих эти данные, часто приводит к неправильному определению ими причин аварий, в результате анализа которых делаются ошибочные выводы о необходимости проведения наиболее оптимальных мероприятий по снижению числа отключений [3, 4].

Описанную выше проблему предлагается решать с помощью проведения различных организационных мероприятий. Основным организационным решением, как указано во многих исследованиях, например [5, 6], является повышение квалификации ремонтного персонала (и/или диспетчерской службы), способных точно устанавливать причины аварий, при этом данная проблема проявляется особо остро в сельской местности. Эффективным решением проблем также является стандартизация методики оценки технического состояния оборудования для рассматриваемого класса напряжения (0,4-10 кВ), распространенной в сельской местности [5]. Так, в работе [1] исследованы статистические данные по отключениям в сельских электрических сетях и, в соответствии с ними, предложена классификация, включающая деление отключений электроэнергии по видам на преднамеренные и аварийные. Применение разработанной классификации позволяет определить как основные причины отключений, так и выбор наиболее оптимальных мероприятий по повышению надёжности электроснабжения.

Особенностью данного исследования является изучение возможностей использования технических решений для устранения проблемы точного определения причины аварий. Имеется гипотеза, что использование методов машинного обучения (Machine Learning, ML) позволит не только автоматизировать определение причин аварий на основе текстовой информации о ходе устранения отключений, представленной в журнале учета аварийных и плановых отключений в сельских электросетях 0,4 кВ, но и повысить качество самой классификации в сравнении с ручным распределением причин аварий. Рассматриваемая задача многоклассовой классификации является одной из фундаментальных задач в области обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) и может быть выполнена как классическими ML алгоритмами (логистическая регрессия, деревья решений), так и нейронными сетями [7]. Для выбора наиболее оптимального алгоритма с точки зрения простоты, эффективности и интерпретируемости результатов проведены латентно-семантический и кластерный анализы рассматриваемой текстовой информации, позволяющие определить сложность задачи через выявление паттернов, присущих определенному описанию причин аварий. Результаты проведенного латентно-семантического анализа представлены в данной работе.

Цель исследования – провести латентно-семантический и кластерный анализы текстовой информации о ходе устранения аварийных отключений, представленной в журнале учета аварийных и плановых отключений в сельских электрических сетях напряжением 0,4 кВ.

Материалы и методы.

Материалы для исследования. В данном исследовании в качестве изучаемых данных взята информация из журнала учета аварийных и плановых отключений в электрических сетях одного из центральных регионов РФ за 2018-2020 гг., содержащие все случаи аварийных отключений электроэнергии в сельской местности на линиях электропередачи (ЛЭП) напряжением 0,4 кВ (2345 случаев). В журнале отключений содержится текстовая информация об отказах на ЛЭП, заполняемая диспетчерами на основе сообщений, передаваемых ремонтными бригадами электросетевой компании при поиске и устранении причин аварий. Также изучена классификация причин этих аварий, оформляемая внутри компании, которая в дальнейшем используется для статистического анализа по отключениям в сетях.

Применяемое программное обеспечение. Проведение исследований производилось на языке программирования Python в среде разработки Jupyter notebook (ver. 7.0.6) программного комплекса Anaconda Python. Для работы с табличными данными применялась библиотека Pandas (ver. 2.1.4), для построения графиков – Matplotlib (ver. 3.8.0) и Seaborn (ver. 0.12.2). Нормализация текста проводилась средствами модуля регулярных выражений re (ver. 0.12.2), лемматизация – средствами библиотеки расширенной обработки естественного языка SpaCy (ver. 3.7.6). Остальные этапы исследования, то есть работа

с векторным пространством, включая её создание из корпуса документов, кластеризацию и визуализацию, произведены средствами библиотеки для машинного обучения Scikit-learn (ver. 1.2.2). А именно, модели векторного пространства документов-терм в виде «мешка слов» создавались классом CountVectorizer, в виде TD-IDF матрицы – классом TfidfVectorizer. Сингулярное разложение векторного пространства производилось с использованием класса Truncated Singular Value Decomposition (TruncatedSVD) библиотеки Scikit-learn. Кластеризация векторного пространства осуществлялась алгоритмом k-средних (k-means), реализованного в классе KMeans, визуализация полученных данных – методом стохастического вложения соседей с t-распределением, представленного классом TSNE.

Алгоритм латентно-семантического анализа. Сущность латентно-семантического анализа (ЛСА) (от англ. Latent semantic analysis, LSA) заключается в выделении с помощью статистических методов наиболее важных компонент из латентного (скрытого) семантического пространства, представляющего собой набор документов (текстов) и термов (слов), представленных в векторном виде. За счет извлечения важных компонент появляется возможность снижения размерности исходных данных (векторов) и, тем самым, установления зависимости между ними, нахождения их сходства, проведения «мягкой» кластеризации (отнесение к нескольким классам) термов или документов [8]. Алгоритм проведения латентно-семантического анализа заключается в следующих этапах [9]:

1. Подготовка корпуса документов (в нашем случае сообщений ремонтных бригад). При этом размер корпуса рекомендуется нормализовывать посредством исключения тривиальных терм (стоп-слова) таких как местоимения, предлоги, союзы и другие слова, не несущие никакой смысловой нагрузки в зависимости от предметной области [10], а также объединение терм на основе их приведения к исходной форме с помощью механизмов стемминга (отбрасывание окончаний слов) [11], или лемматизации (приведения терм к леммам, т.е. к словарной форме) [12,13].

2. Создание модели векторного пространства посредством различных методов количественной оценки текста (bag-of-words или TF-IDF) [14]. Векторная модель представляет собой матрицу термы-на-документы A размером $t \times d$, где d равно длине корпуса представленных документов, а t – длине словаря термов. Термы могут быть как отдельными словами, так и N-граммами (последовательностями из N слов). Элемент A_{ij} в матрице отражает значение, которые отражают частоту появления термы t_i в документе d_j , при этом возможно уменьшения значения для терм часто встречаемых во всем корпусе документов за счет использования методов общего взвешивания (например, TF-IDF или BM25 [15]).

3. Снижение размерности матрицы A без искажения структуры семантических зависимостей, что позволяет повысить качества прогнозирования в задачах кластеризации, а также более наглядно визуализировать получаемые зависимости между документами и термами. В латентно-семантическом анализе используется сингулярное разложение (англ. Singular Value Decomposition, SVD), позволяющее снизить размерность получаемой матрицы A_k за счет выделения наиболее важных компонент k , но при этом являющейся приближением исходной матрицы A без больших семантических потерь.

4. Использование полученной матрицы A_k для поставленной задачи. Так как в данном исследовании изучается возможность классификации текстовых сообщений ремонтных бригад, то четвертым этапом является кластеризация матрицы A_k и оценка её качества путем использования соответствующих метрик качества, визуализации полученных данных и экспертного анализа документов, объединенных в кластеры.

Более подробно этапы исследования представлены ниже.

Создание модели векторного пространства. Как отмечалось в [14], модели векторного пространства можно создать посредством различных методов количественной оценки текста, из которых обычно выделяют два самых распространенных подхода [16]: расчет частотности терм в корпусе документов «мешок слов» (от англ. «bag-of-words», BOW) и подход взвешивания на основе веса терм (от англ. TF-IDF).

Сущность создания «мешка слов» основывается на расчете количества терм t_i , встреченных в документе d_j [17]. При этом документ d_j представляет собой вектор длиной словаря, где количество ненулевых значений будет равно количеству уникальных терм, встречаемых в документе. Значение в матрице A_{ij} по методу BOW будет вычисляться по формуле:

$$A_{i,j} = BOW = \sum_{t \in d_j} [t = t_i],$$

где t – рассматриваемое слово; t_i – терма в выборке словаря; d_j – рассматриваемый документ; d равно длине корпуса представленных документов, а t – длине словаря термов.

Однако у такого метода есть некоторые недостатки, один из которых неучитывание встречаемости термы в остальных документах [17, 18]. Так, если терма встречается в каждом документе, то она перестает отражать смысловую особенность документа, наподобие стоп-слов. Данную проблему можно решить более совершенным методом векторизации текста TF-IDF, позволяющую оценить не только частотность, но важность термы. TF-IDF рассчитывается за счет двух составляющих TD (от англ. Term frequency) и IDF (от англ. Inverse document frequency). Term frequency отражает количество вхождений термы t_i в отдельном документе d_j , а Inverse document frequency показывает частоту его употребления во всём корпусе документов D . Таким образом, значение в матрице $A_{i,j}$ рассчитывается методом TF-IDF по формуле 2, а её составляющие TF и IDF по формулам 3 и 4, соответственно.

$$A_{i,j} = TF-IDF(t_i, d_j, D) = TF(t_i, d_j) \times IDF(t_i, D),$$

$$TF(t_i, d_j) = \frac{\sum_{t \in d_j} [t = t_i]}{\sum_{t \in d_j} t}$$

где выражение $\sum_{t \in d_j} [t = t_i]$ показывает количество употребления термы t_i в документе d_j (то есть значение BOW), а $\sum_{t \in d_j} t$ – общее число слов в документе d_j .

$$TF(t_i, D) = \log_{10} \frac{\sum_{d_j \in D} d_j}{\sum_{\{d_j \in D: t \in d_j\}} d_j}$$

где выражение $\sum_{d_j \in D} d_j$ отражает количество документов d в корпусе D , $\sum_{\{d_j \in D: t \in d_j\}} d_j$ – количество документов d в корпусе D , в которых встречалась терма t_i .

Составляющая IDF отвечает за уменьшение веса терм, распространённых в корпусе документов. Большое значение $TF-IDF$ показывает уникальность термы в документе по отношению ко всему корпусу, и оно тем больше, чем чаще терма встречается в рассматриваемом документе и реже в остальных.

Снижение размерности векторного пространства. Классический метод снижения размерности векторного пространства в ЛСА подразумевает разложение матрицы по сингулярным значениям на три матрицы, выделение наиболее важных компонентов в них, и произведение получившихся матриц для получения матрицы меньшего размера. Сингулярное разложение матрицы A производится по формуле (1), результатом которого является образование трех матриц U , Σ и V :

$$A = U \times \Sigma \times V^T,$$

где U – ортогональная матрица терм размером $t \times t$, V – ортогональная матрица терм размером $d \times d$ (V^T – транспонированная матрица V), Σ – диагональная матрица размером $d \times t$, содержащая сингулярные значения (квадратные корни из общих собственных значений между термами и документами [19]).

Преимущество сингулярного разложения заключается в том, что матрица Σ содержит сингулярные значения по диагонали в порядке убывания, то есть наиболее важная информация сосредоточена в начале матрицы. Поэтому, если взять только k первых наибольших сингулярных значений (наиболее важных компонент) из матрицы Σ , то получим матрицы $U_{d \times k}$, $\Sigma_{k \times k}$, $V_{t \times k}^T$, из которых можно вывести матрицу A_k . Матрица A_k является наилучшим приближением исходной матрицы A и отражает основную структуру зависимостей терм и документов. Таким образом, имея матрицу с меньшей размерностью, но достаточно близкой к исходной матрице, появляется возможность легкого расчета близости (сходства) между термами и документами, например при помощи скалярного произведения векторов или коэффициента корреляции Пирсона.

Главным параметром SVD разложения является выбор значения k (количество наибольших сингулярных значений), который устанавливается в зависимости от поставленной задачи и подбирается, как правило, эмпирически [19]. Однако, как отмечается в исследовании [20], наилучшие результаты латентно-семантического анализа достигается при значении k в пределах 300-500 для исследуемых корпусов в диапазоне от тысяч до десятков тысяч документов.

Кластеризация векторного пространства. Одним из завершающих этапов ЛСА в зависимости от поставленной цели является изучение закономерностей между терминами и документами, полученных в процессе SVD разложения, что может быть достигнуто путем кластеризации и визуализации полученных данных. Кластеризация данных используется для автоматической группировки документов, имеющих схожую структуру, в так называемые кластеры. С точки зрения методов машинного обучения алгоритмы кластеризации являются методами обучения без учителя, что подразумевает использование только обучающей выборки без разметки. Наиболее известным и хорошим интерпретируемым методом кластеризации является алгоритм k -средних (k -means), разбивающий множество объектов на заранее определенное число кластеров k [21]. Суть алгоритма [22] заключается в том, что в самом начале определяется случайным образом расположение центроидов (центров) k кластеров, а затем производится повторение следующих действий: отнесение объектов к ближайшему центроиду (по евклидовому расстоянию) и расчет новых центроидов для получившихся кластеров. Эти действия производятся до тех пор, пока центры кластеров не перестанут изменяться. Поэтому наиболее важным гиперпараметром алгоритма является выбор изначального количества кластеров, оптимальное число которых определяется экспертной оценкой или существующими метриками качества кластеризации, например, суммой квадратов расстояний объектов кластеров до их центроидов, коэффициентом силуэта или индексом Дэвиса-Болдина [22].

Визуализация многомерных переменных. Визуализация данных позволяет представить и наглядно оценить латентно-семантические связи в данных. Однако получаемые векторы из матрицы A_k , как правило, имеют длину, которую невозможно визуализировать. Поэтому для визуализации результатов ЛСА, в том числе результатов кластеризации, используют методы визуализации данных в двухмерном или трехмерном пространствах с помощью диаграмм рассеивания [23]. При этом такое визуализированное пространство должно отображать основную структуру изначальных n -мерных векторов.

Наименее трудоемким способом является выбор на предыдущем шаге только двух (или трех) первых наибольших сингулярных значений при SVD разложении, что позволяет получить двухмерные (или трехмерные) векторы, которые затем визуализируются. Однако такой способ, как правило, часто является неинформативным и слабо передает семантические связи.

Среди наиболее распространенных методов визуализации выделяют метод анализа главных компонент (от англ. Principal Components Analysis, PCA) и метод стохастического вложения соседей с t -распределением (от англ. t -distributed Stochastic Neighbor Embedding, t-SNE). В основе PCA лежит линейная алгебра нахождения собственных значений (векторов) через собственные значения ковариационной матрицы и их сортировке для создания матрицы главных компонент, которые затем проецируются на новое пространство. Этот метод прекрасно подходит для визуализации линейных зависимостей. Однако для обнаружения нелинейных связей между переменными, которые присутствуют в нашем векторном пространстве, лучшим вариантом будет использование алгоритма t-SNE. Сущность алгоритма заключается в расчете вероятностей сходства объектов в исходном пространстве, а затем построение вероятностей сходства объектов в новом пространстве сниженной размерности с учетом минимизации расхождения функции Кульбака-Лейблера [24].

Результаты и обсуждение.

Ознакомление с данными и обработка корпуса документов. Представленный датасет получен в результате обработки 2345 случаев аварийных отключений электроэнергии и содержит текстовую информацию со всеми сообщениями, оставляемыми ремонтными бригадами электросетевой компании при поиске и устранения причин этих отключений. В датасет также добавлена информация по внутренней классификации причин этих аварий. В таблице 1 представлены 5 случайно выбранных события (отключения) сформированного датасета.

Первичный анализ данных показал высокую кардинальность значений причин отключений электроэнергии, равную 22, и существенный дисбаланс классов, представленный на рисунке 1. Пять причин аварий составляют 92,9 % от общего числа, при этом причина «Срабатывание АВ» составляет 52,2 %. Поэтому при расчетах метрик качества классификации и оптимизации параметров классификаторов необходимо учитывать этот факт. Следует отметить, что причина «Срабатывание АВ» занимает такую долю из-за невозможности идентификации изначальной причины отключения электроэнергии, таких как схлест проводов или повреждение на оборудовании потребителя, которое потребитель устранил до прибытия ремонтной бригады.

Таблица 1 – Пример исследуемых данных
Table 1 – Example of the data under study

№	Текстовое сообщение / Text Message	Причина отключения / Reason for disconnection
171	рпв успешно / reclosing relay successfully	Срабатывание АВ / ACB actuation
281	26.05.18 В 21:10 поступила заявка: частично отсутствует эл. снабжение по ВЛ 0,4 кВ № 1 от КТП НС-3-3. 22:37 ОВБ установлено перегорание н/в пр-ля фаза "В". 22:44-22:57 заменён н/в пр-ль. 23:03 эл. Снабжение восстановлено / 05/26/18 At 21:10 a request was received: partial absence of power supply on 0.4 kV overhead line No. 1 from TS NS-3-3. 22:37 established burnout of low voltage transformer phase "B". 22:44-22:57 low voltage transformer replaced. 23:03 electric power supply restored	Обрыв провода / Broken wire
1646	Перегорел ПН-2 фаза "С" / Burned out fuse-2 phase "C"	Перегорание предохранителя 0,4 кВ / 0.4 kV fuse blow
754	09.10.2018 08:20 заявка обрыв провода 09.10.2018 10:11 обнаружен обрыв провода в пролете опор № 20-22, а.в.0,4 кВ в РУ-0,4 кВ отключен. 09.10.2018 16:06 повреждение устранено / 09.10.2018 08:20 request wire break 09.10.2018 10:11 a wire break was detected in the span of supports No20-22, acb. 0.4 kV in the switchgear 0.4 kV disconnected. 09.10.2018 16:06 the damage was repaired	Обрыв провода / Broken wire
1968	19:57 обнаружен откл. АВ-0,4 кВ № 2, 20:03 РПВ успешно. / 19:57 Disabled detected. AV-0.4 kV No2, 20:03 reclosing relay successfully.	Срабатывание АВ / ACB actuation



Рисунок 1 – Распределение частоты встречаемости причин отключений
Figure 1 – Distribution of occurrence frequency of outage reasons

Из текстовой информации об отключениях был создан корпус документов и в последующем нормализован посредством преобразования текста в нижний регистр, удаления лишних пробелов, стоп-слов, чисел, специальных символов, лемматизирован с помощью библиотеки spaCy NLP [25].

Создание и обработка модели векторного пространства. В процессе анализа текстовой информации были созданы два векторных пространства для изучения частоты встречаемости («мешок слов») и важности (матрица TF-IDF) терм в корпусе документов. В таблице 2 представлены по пять самых встречаемых терм в документах в разрезе произошедшего события (причины отключения), а в таблице 3 – по 5 самых важных терм по событию. В таблицах представлены 9 основных и наиболее интересных для анализа событий, а также общий результат по 22 событиям.

Таблица 2 – Средняя встречаемость термы в документах в разрезе причин отключения
Table 2 – Average frequency of term occurrence in documents in the context of outage cause

Причина отключений / Cause of outages	Терма / Therma	Средняя частота термы / Average frequency of the term	Причина отключений / Cause of outages	Терма / Therma	Средняя частота термы / Average frequency of the term
Все причины / All causes	кв / kV	1.46	Падение деревьев / Falling trees	кв / kV	1.43
	ав / automatic circuit breaker	0.66		вл / High Voltage Line	1.08
	вл / High Voltage Line	0.44		прол / span	0.75
	обнаружить / detect	0.40		опор / support	0.72
	осмотр / inspection	0.39		дерево / tree	0.68
Атмосферные перенапряжения / Atmospheric overvoltages	кв / kV	2.83	Жизнедеятельность животных и птиц / Results of the vital activity of animals and birds	кв / kV	1.75
	обнаружить / detect	1.08		вл / High Voltage Line	1.75
	вл / High Voltage Line	1.00		Тп / TS	0.75
	гроза / thunderstorm	0.83		прол / support	0.75
	успешно / successfully	0.75		провод / wire	0.75
Срабатывание АВ / automatic circuit breaker actuation	кв / kV	1.66	Обрыв провода / Broken wire	обрыв / precipice	0.93
	ав / automatic circuit breaker	0.97		кв / kV	0.89
	отключить / Turn off	0.49		провод / wire	0.76
	рпв / reclosing relay	0.44		Прол / span	0.59
	обнаружить / detect	0.40		опор	0.51
Внутреннее повреждение АВ 0,4 кВ / Internal damage to 0.4 kV automatic circuit breaker	кв / kV	2.56	Перегорание предохранителя 0,4 кВ / 0.4 kV fuse blow	пн / fuse	1.05
	ав / automatic circuit breaker	1.22		фаза / phase	0.68
	вл / High Voltage Line	1.00		кв / kV	0.65
	отключить / Turn off	0.56		перегореть / burn out	0.37
	обнаружить / detect	0.56		заменить / replace	0.32
Гололедно-ветровые нагрузки / Ice and wind loads	кв / kV	1.88	Схлест проводов / Clash of wires	кв / kV	1.68
	вл / High Voltage Line	1.03		провод / wire	0.90
	обнаружить / detect	0.76		схлест / Clash	0.70
	повреждение / damage	0.64		вл / High Voltage Line	0.69
	овб / AXO	0.55		ав / automatic circuit breaker	0.68

Анализируя таблицу 2, можно отметить, что термы «кв» (сокр. киловольт»), «ав» (сокр. «автоматический выключатель»), «вл» (сокр. «высоковольтная линия») являются наиболее часто встречаемыми для большинства событий. Для событий, связанных с воздействием на ЛЭП, таких как «падение деревьев», «обрыв провода», «схлест проводов», частой термой является «провод», для остальных событий – терма «обнаружить». Важным моментом является наличие терм «дерево» для события «падение деревьев», «гроза» – для события «Атмосферные перенапряжения», «обрыв» и «провод» – для события «Обрыв провода», «пн» (сокр. «предохранитель») и «перегореть» – для события «Перегорание предохранителя 0,4 кВ», «схлест» и «провод» – для события «схлест проводов», что говорит о наличии важных признаков для качественного решения задачи автоматической классификации причин отключения по сообщениям ремонтных бригад.

Таблица 3 – Средняя важность термы в документах в разрезе причин отключения
Table 3 – Average importance of term occurrence in documents in the context of outage cause.

Причина отключений / Cause of outages	Терма / Therma	Средняя важность термы / Average importance of the thermae	Причина отключений / Cause of outages	Терма / Therma	Средняя важность термы / Average importance of the thermae
Все причины / All causes	кв / kV	0.16	Падение деревьев / Falling trees	дерево / tree	0.13
	Ав / automatic circuit breaker	0.14		опор / Support	0.11
	отключить / Turn off	0.08		прол / Span	0.11
	успешно / successfully	0.07		Вл / High Voltage Line	0.10
	Рпв / reclosing relay	0.07		кв / kV	0.09
Атмосферные перенапряжения / Atmospheric overvoltages	гроза / thunderstorm	0.30	Жизнедеятельность животных и птиц / Results of the vital activity of animals and birds	бобр \ bever	0.19
	дождь / rain	0.25		Вл / High Voltage Line	0.16
	кв / kV	0.21		дерево / tree	0.12
	повторный / repeated	0.19		перегрызание / Gnawing	0.12
	Не / not	0.18		аварийно / Emergency	0.11
Срабатывание АВ / Circuit breaker actuation	кв / kV	0.24	Обрыв провода / Broken wire	обрыв / precipice	0.27
	Ав / automatic circuit breaker	0.23		провод / wire	0.21
	Отключить / Turn off	0.13		прол / span	0.15
	Рпв / reclosing relay	0.13		опор / Support	0.13
	успешно / successfully	0.12		фаза / phase	0.11
Внутреннее повреждение АВ 0,4 кВ / Internal damage to 0.4 kV automatic circuit breaker	кв / kV	0.19	Перегорание предохранителя 0,4 кВ / 0.4 kV fuse blow	пн / fuse	0.36
	Ав / automatic circuit breaker	0.13		фаза / phase	0.24
	неисправный / faulty	0.12		перегореть / burn out	0.16
	повредить / injure	0.12		заменить / replace	0.13
	замена / replacement	0.10		повредить / injure	0.09
Гололедно-ветровые нагрузки / Ice and wind loads	ветер / wind	0.12	Схлест проводов / Clash of wires	провод / wire	0.19
	кв / kV	0.11		схлест / slash	0.16
	порыв / impulse	0.10		кв / kV	0.12
	сильный / strong	0.10		прол / span	0.10
	Вл / High Voltage Line	0.09		опор/ support	0.09

В то же самое время таблица 3 подтверждает факт, что метод TF-IDF справляется с выделением важных терм лучше, чем «мешок слов». Например, для события «Атмосферные перенапряжения» сильнее всего выделяются термы «гроза» и «дождь», для «Гололедно-ветровые нагрузки» – «ветер», «порыв», «сильный». Для события «Срабатывание АВ» важной термой является «успешно», то есть если автоматический выключатель был успешно включен после срабатывания, то, скорее всего, найти причину не удалось и бригада отметила это событие как срабатывание АВ.

В качестве модели векторного пространства была выбрана матрица, полученная методом взвешивания TF-IDF. Размер матрицы составил 2345×1878 , где 2345 – это количество документов, а 1878 – размер словаря терм. Среднее значение для документа в полученной матрице составило 10,74, то есть более 1867 элементов матрицы содержат нулевые значения. Разреженные матрицы являются одной из особенностей применения методов bag-of-words и TF-IDF, которые ухудшают качество работы и увеличивают время выполнения задач машинного обучения. Эффективной мерой борьбы с разреженными матрицами является снижение размерности векторного пространства, в том числе посредством сингулярного разложения.

Сингулярное разложение векторного пространства, полученного выше, проводили с использованием класса Truncated Singular Value Decomposition (TruncatedSVD), представленного в ML библиотеке Scikit-learn. Количество итераций для алгоритма составило 7 раз, а количество оставляемых компонент (параметр $n\_components$) – k наибольших сингулярных значений, было выбрано эмпирическим путем, равным 200, что соответствует результатам исследования [19]. Таким образом, было произведено снижение размерности векторного пространства до матрицы A_k размером 2345×200 .

Кластеризация причин отключений и анализ результатов. Проведена кластеризация полученного векторного пространства для выявления скрытой структуры в данных. Для этого был использован алгоритм k-means с инициализацией от 2 до 100 кластеров. Для поиска оптимального количества кластеров использовались следующие метрики: сумма квадратов расстояний объектов кластеров до их центроидов («метод локтя»), коэффициент силуэта или индекс Дэвиса-Болдина. Результаты кластеризации при различном количестве кластеров представлены на рисунке 2

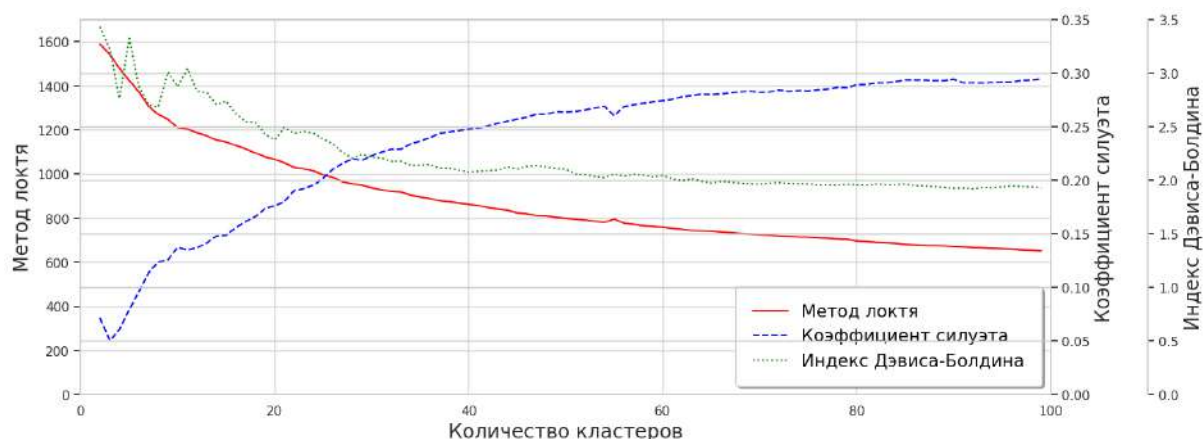


Рисунок 2 – Внутрикластерная дисперсия, коэффициент силуэта, индекс Дэвиса-Болдина в зависимости от количества кластеров алгоритма k-средних

Figure 2 – Intra-cluster variance, silhouette coefficient, Davis-Boldin index depending on the number of k-means algorithm clusters

При анализе графиков необходимо отметить, что количество кластеров по методу локтя (расчету суммы квадратов расстояний объектов кластеров до их центроидов) производится на резком изгибе линии, однако в нашем случае данный изгиб не наблюдался, что объяснимо сложной структурой текстовых данных. Коэффициент силуэта показывает расстояние между объектами различных классов и изменяется в пределах $-1 \dots +1$, где значение $+1$ говорит о хорошем качестве кластеризации, -1 – о плохом, а 0 – о перекрывающихся друг друга кластерах. На графике коэффициент силуэта достиг почти 0.3, что показывает

наличие некоторой разделенности кластеров. Однако необходимо отметить, что это является хорошим результатом, учитывая сложную структуру текстовой информации. Индекс Девиса-Болдина показывает сходство между кластерами и меньший размер индекса характеризует лучшее качество кластеризации. На графике видно, что до 40 кластеров наблюдается достаточно устойчивое снижение индекса, после чего происходит резкое замедление этого тренда. Поэтому, оптимальным количеством кластеров для данного корпуса документов следует считать именно 40.

Метод стохастического вложения соседей с t-распределением (t-SNE) был применен для визуализации результатов кластеризации векторного пространства описания аварийных отключений электроэнергетики в двумерном пространстве (рисунок 3).

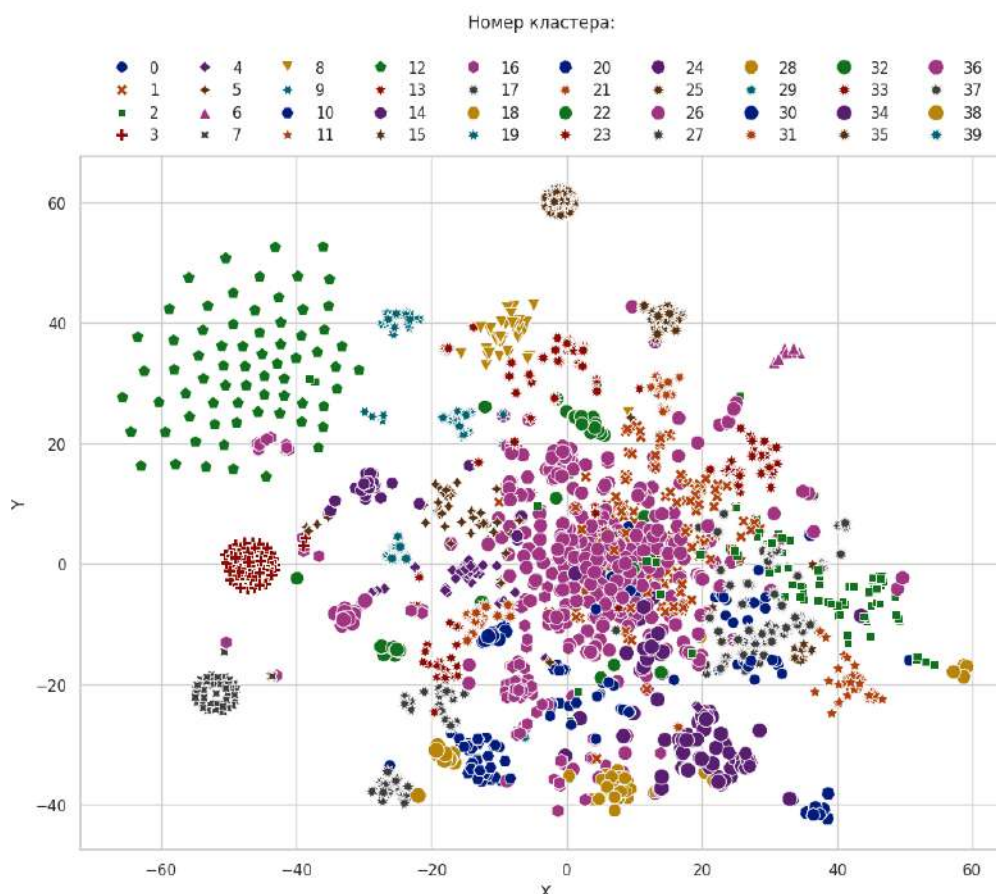


Рисунок 3 – Визуализация кластеризации полученного векторного пространства посредством метода t-SNE

Figure 3 – Visualization of clustering of obtained vector space by t-SNE method

Также для оценки полученных результатов выведена визуализация распределения рассматриваемого векторного пространства с учетом внутренней классификации причин этих аварий (рисунок 4). Согласно рисунку, 0 – атмосферные перенапряжения, 1 – внутреннее повреждение АВ 0,4 кВ, 2 – гололедно-ветровые нагрузки, 3 – деятельность сторонних лиц, 4 – жизнедеятельность животных и птиц, 5 – обрыв провода, 6 – обрыв проводов техникой, 7 – окисление контактных соединений, 8 – падение деревьев, 9 – падение опоры, 10 – перегорание предохранителя 0,4 кВ, 11 – перекрытие проводов по постороннему предмету, 12 – перетерание СИП, 13 – повреждение изолятора, 14 – повреждение кабельного участка 0,4 кв, 15 – повреждение на оборудовании потребителя, 16 – повреждение проводов и опор дорожной техникой и автомобилями, 17 – пожар, 18 – превышение габарита стрелы провеса, 19 – пробой изолятора, 20 – срабатывание АВ, 21 – схлест проводов. Следует отметить, что из-за большого количества кластеров многие метки кластеров при визуализации похожи друг на друга, поэтому нужно внимательней подходить к изучению данных.

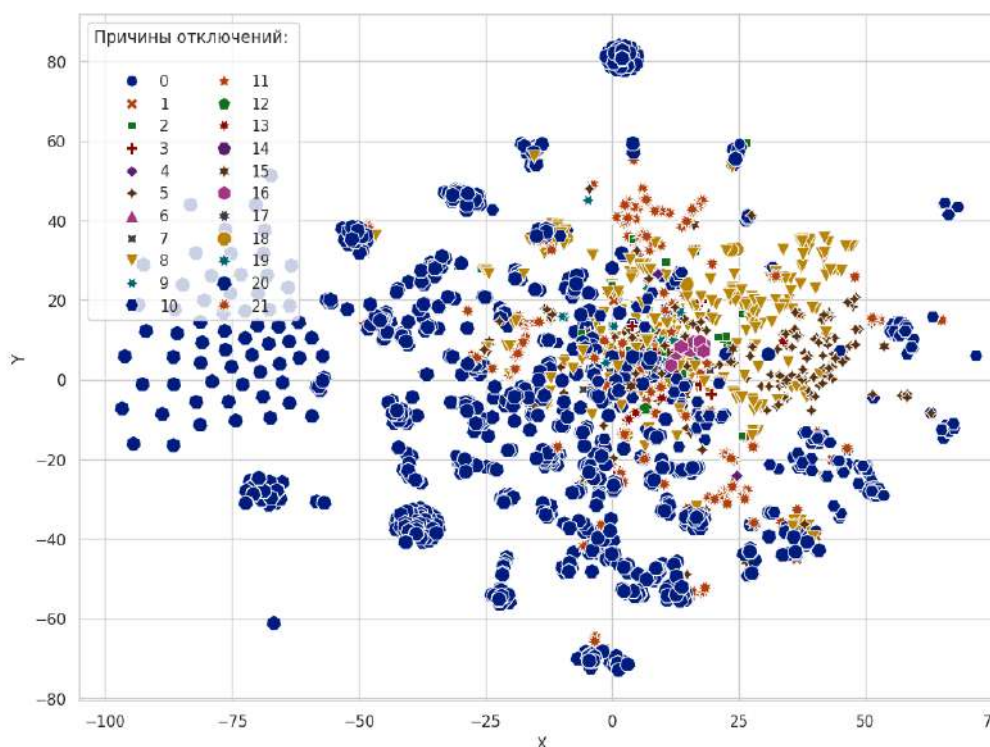


Рисунок 4 – Визуализация распределения классификации причин отключений, проведенной в центре управления сетями, посредством метода t-SNE
Figure 4 – Visualization of the distribution of outage causes marked in the network control center by t-SNE method

Анализ визуализации полученных результатов на рисунке 3 подтверждает образование кластеров, многие из которых достаточно четко обособлены от других. В таблице 4 выведены случайным образом по пять описаний аварий для двух наиболее обособленных кластеров, расположенных в координатах $[X = \{-100...80\}, Y = \{+55...90\}]$ и $[X = \{-10...10\}, Y = \{-60...-43\}]$ (рисунок 3), соответственно. Видно, что в описании аварии в рассматриваемых кластерах являются похожими друг на друга, а с учетом нормализации текста и использования метода TD-IDF и идентичны, поэтому они легко обособляются и поддаются кластеризации. Данные кластеры, как и другие обособленные кластеры, отнесены к одной причине отключений «срабатывание АВ». Другие кластеры из-за сложной структуры текстовой информации уже хуже поддаются кластеризации, что отражается на метриках качества (например, на коэффициенте силуэта).

Таблица 4 – Пример описания отключений для двух кластеров
Table 4 – Example of outage description for two clusters

X = {-100...80}, Y = {+55...90}			X = {-10...10}, Y = {-60...-43}		
№ события / Events	Причина отключения / Reason for disconnection	№ кластера / Cluster	№ события / Events	Причина отключения / Reason for disconnection	№ кластера / Cluster
1443	РПВ-успешно.	25	424	Включен АВ-04кВ	3
2047	17-38 РПВ успешно	25	1051	Включен АВ-0,4кВ	3
1441	РПВ-успешно	25	331	Включен АВ-0,4кВ	3
1406	12-27 РПВ-успешно	25	254	Включен АВ-0,4кВ	3
1900	РПВ-успешно.	25	507	Включен АВ-0,4кВ.	3

Однако следует отметить, что классификация причин аварий, выполненная электросетевой компанией, не всегда совпадает с образованными кластерами. Например, для кластера $[X = \{-10...5\}, Y = \{-60...-80\}]$ (рисунок 4) основной отнесенной причиной является «срабатывание АВ», но также имеются причины: «схлест проводов» и «падение деревьев». Анализ описания причин аварий показал, что текст для аварий в данном кластере имеет схожую структуру и отличается только некоторыми вариациями. Текст начинается со слов

«{время} Поступила заявка нет э/э. {время} При осмотре РУ-0,4 кВ обнаружен автоматически отключен АВ-0,4 кВ. {время}...» и заканчивается объяснением самой аварии, из которого и выводится сама причина аварии. Например, фраза «На ВЛ-0,4 кВ технологических нарушений не обнаружено, включен АВ-0,4 кВ.» будет относить событие к «срабатыванию АВ», «При осмотре ВЛ-0,4 кВ обнаружен схлест провода» – к «схлесту проводов», «на ВЛ-0,4 кВ оп.12-13 обнаружен обрыв проводов упавшим деревом» – к «падению деревьев». Таким образом, можно предположить, что если по отношению к полученному векторному пространству провести регрессионный анализ и вывести коэффициенты регрессии к каждому слову, то можно построить регрессионную модель (логистическую), которая на основе наличия определенных слов в документе сможет с достаточной уверенностью классифицировать причину аварии. В качестве классификаторов причин аварий могут быть рассмотрены и другие модели машинного обучения. Таким образом, разработанный подход может быть использован для создания систем поддержки принятия, направленных на повышение надежности электроснабжения сельских населенных пунктов.

Заключение. В рамках данной работы был проведен латентно-семантический и кластерный анализы текстовой информации о ходе устранения аварийных отключений, представленной в журнале учета аварийных и плановых отключений в сельских электрических сетях, основные результаты которого изложены ниже.

Первичный анализ данных показал высокую кардинальность значений причин отключений электроэнергии, равную 22, и существенный дисбаланс классов. Пять причин аварий составили 92,9 % от общего числа, при этом причине отключений "Срабатывание АВ" относится 52,2 % всех случаев.

Анализ векторных пространств в виде матриц документы-термы в разрезе причин отказов на ЛЭП показал, что метод TF-IDF является наиболее предпочтительным в данном исследовании по сравнению с методом «мешок слов» из-за более правильного выделения терм, присущих определенным причинам отключений. Эмпирическим путем установлено, что количество главных компонент в процессе сингулярного разложения полученного векторного пространства следует выбирать, равным 200.

Кластеризация объектов полученной матрицы после сингулярного разложения проведена алгоритмом k-средних, анализ качества которой позволил установить оптимальное количество кластеров, равное 40. Визуализация результатов кластеризации методом стохастического вложения соседей с t-распределением (t-SNE) позволила оценить степень кластеризации и определить высокую степень семантической близости документов внутри каждого кластера.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования методов машинного обучения для автоматизированного анализа текстовых данных о причинах отключений. Разработанный подход может быть использован для создания систем поддержки принятия решений, направленных на повышение надежности электроснабжения сельских населенных пунктов.

Conclusions. Within the framework of this research, latent semantic and cluster analyses of text information on the progress of eliminating emergency outages presented in the log of emergency and planned outages in rural electrical networks were carried out. The main results of research are presented below.

The primary analysis of the data showed a high cardinality of the values of the causes of power outages, equal to 22, and a significant imbalance of classes. Five causes of accidents accounted for 92.9 % of the total number. The outage cause of "Circuit breaker tripping" accounts up to 52.2 % of all cases.

Analysis of vector spaces in the form of document-term matrices in the context of failure causes on power transmission lines showed that the TF-IDF method is the most preferable in this study compared to the "bag of words" method due to a more correct selection of terms inherent in certain causes of outages. It has been empirically established that the number of principal components in the process of singular decomposition of the resulting vector space should be chosen equal to 200.

Clustering of objects of the matrix obtained after singular decomposition was carried out by the k-means algorithm, the quality analysis of which allowed establishing the optimal number of clusters equal to 40. Visualization of the clustering results by the stochastic neighbor embedding method with t-distribution (t-SNE) method allowed estimating the degree of clustering and determining a high degree of semantic similarity of documents within each cluster.

The obtained results indicate the prospects of using machine learning methods for automated analysis of text data on the outage causes. The developed approach can be used to create decision support systems aimed at improving the reliability of power supply in rural areas.

Библиографический список

1. Виноградова А. В. Причины отключений в сельских электрических сетях и их структурирование. Агротехника и энергообеспечение. 2024. Т. 4. № 45. С. 12-19.
2. Сбитнев Е. А., Жужин М. С. Анализ аварийности сельских электрических сетей 0, 38 кВ Нижегородской энергосистемы. Вестник НГИЭИ. 2020. Т. 11. № 114. С. 36-47.
3. Комаров М. Ю. Оценка технического состояния и уровня эксплуатации оборудования предприятий распределительного комплекса дальневосточного региона на основе статистического анализа отключений энергетического оборудования. Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. 2013. С. 318-322.
4. Коннов А. А. Анализ аварийности в электрических сетях 0, 4 кВ Нижегородской области. Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. Т. 5. № 1. С. 127-130.
5. Бандурин И., Садченкова О. Повышение надёжности электроснабжения распределительных сетей сельскохозяйственного назначения. Электроэнергия Передача и распределение. 2015. № 5. С. 46-52.
6. Куценко Г. Ф., Парфёнов А. А., Бутенко А. В. Повышение надёжности электроснабжения потребителей АПК при использовании пунктов автоматического резервирования. Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2000. Т. 1. № 1. С. 53-58.
7. Максютин П. А., Шульженко С. Н. Обзор методов классификации текстов с помощью машинного обучения. Инженерный вестник Дона. 2022. Т. 12. № 96. С. 1-9.
8. Evangelopoulos N. E. Latent semantic analysis. Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci. 2013. V. 4. No 6. Pp. 683-692.
9. Воронин В. М., Курицин С. В. Латентный семантический анализ и понимание текста. Психологический вестник Уральского государственного университета. 2010. Вып 9.
10. Бондарчук Д. В. Использование латентно-семантического анализа в задачах классификации текстов по эмоциональной окраске. БРНИ. 2012. Т. 3. № 2. С. 146-52.
11. Гращенко Л. А., Муравлев В. А. Snowforce: быстрый стеммер для русского языка. Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2018. № 21. С. 194-200.
12. Pramana R., Debora, Subroto J. J., Gunawan A. A. S., Anderies A. Systematic Literature Review of Stemming and Lemmatization Performance for Sentence Similarity. 2022 IEEE 7th International Conference on Information Technology and Digital Applications (ICITDA). IEEE. 2022. Pp. 1-6.
13. Жердева М. В., Артюшенко В. М. Стемминг и лемматизация в lucene. Net. Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 3. С. 131-134.
14. Большакова Е. И., Воронцов К. В., Ефремова Н. Э., Клышинский Э. С., Лукашевич Н. В., Сапин А. С. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных. М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017.
15. Kim M. Y., Rabelo J., Okeke K., Goebel R., Okeke K., Goebel R., et al. Legal Information Retrieval and Entailment Based on BM25, Transformer and Semantic Thesaurus Methods. The Review of Socionetwork Strategies. 2022. V. 16. No 1. Pp. 157-174.
16. Gao W., Peng M., Wang H., Zhang Y., Xie Q., Tian G. Incorporating word embeddings into topic modeling of short text. Knowl Inf Syst. 2019. V. 61. No 2. Pp. 1123-45.
17. Pimpalkar A. P., Raj R. J. R. Influence of pre-processing strategies on the performance of ML classifiers exploiting TF-IDF and BOW features. Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal. 2020. V. 9. No 2. Pp. 49-68.
18. Alsmadi I., Hoon G. K. Term weighting scheme for short-text classification: Twitter corpuses. Neural Comput Appl. 2019. V. 31. No 8. Pp. 3819-3831.
19. Evangelopoulos N., Zhang X., Prybutok V. R. Latent Semantic Analysis: five methodological recommendations. European Journal of Information Systems. 2012. V. 21. No 1. Pp. 70-86.
20. Bradford R. B. An empirical study of required dimensionality for large-scale latent semantic indexing applications. Proceedings of the 17th ACM conference on Information and knowledge management. New York, 2008. Pp. 153-162.
21. Бегларян М. Е., Добровольская Н. Ю. Моделирование и кластеризация в автоматизированной системе обеспечения безопасности предприятия. Правовая информатика. 2018. No 3. Pp. 38-46.
22. Sinaga K. P., Yang M. S. Unsupervised K-means clustering algorithm. IEEE Access. 2020. V. 8. Pp. 80716-80727.
23. Чижик А. В. Использование методов тематического моделирования для оценки степени влияния СМИ на общественное настроение. Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии. 2021. No 5. Pp. 70-78.
24. Van der Maaten L., Hinton G. Visualizing data using t-SNE. Journal of machine learning research. 2008. V. 9. No 11.
25. Васильев Ю. Обработка естественного языка. Python и spaCy на практике. СПб: "Издательский дом " Питер", 2021.

References

1. Vinogradova A. V. Causes of outages in rural electrical networks and their structuring. Agrotechnology and energy supply. 2024. V. 4. No. 45. Pp. 12-19.
2. Sbitnev E. A., Zhuzhin M. S. Analysis of accidents in rural electrical networks of 0.38 kV of the Nizhny Novgorod power system. Bulletin of NGIEI. 2020. V. 11. No. 114. Pp. 36-47.
3. Komarov M. Yu. Assessment of the technical condition and level of operation of equipment of distribution complex enterprises of the Far Eastern region based on statistical analysis of power equipment outages. Power Engineering: Management, Quality and Efficiency of Energy Resources Use. 2013. Pp. 318-322.
4. Konnov A. A. Analysis of accidents in 0.4 kV electrical networks of the Nizhny Novgorod region. Current scientific research in the modern world. 2020. V. 5 No. 1. Pp. 127-130.
5. Bandurin I., Sadchenkova O. Improving the reliability of power supply in agricultural distribution networks. Electricity Transmission and Distribution. 2015. No. 5. Pp. 46-52.
6. Kutsenko G. F., Parfenov A. A., Butenko A. V. Improving the reliability of power supply to consumers of the agro-industrial complex using automatic backup points. Bulletin of the Sukhoi Gomel State Technical University. 2000. V. 1. No. 1. Pp. 53-58.

7. Maksyutin P. A., Shulzhenko S. N. Review of text classification methods using machine learning. Engineering Bulletin of the Don. 2022. V. 12. No. 96. Pp. 1-9.
8. Evangelopoulos N. E. Latent semantic analysis. Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci. 2013. V. 4. No 6. Pp. 683-692.
9. Voronin V. M., Kuritsyn S. V. Latent semantic analysis and text comprehension. Psychological Bulletin of the Ural State University. 2010. Issue 9.
10. Bondarchuk D. V. Using latent semantic analysis in the tasks of text classification by emotional coloring. BRNI. 2012. V. 3. No 2. Pp. 146-52.
11. Grashchenko L. A., Muravlev V. A. Snowforce: a fast stemmer for the Russian language. New information technologies in automated systems. 2018. No. 21. Pp. 194-200.
12. Pramana R., Debora, Subroto J. J., Gunawan A. A. S., Anderies A. Systematic Literature Review of Stemming and Lemmatization Performance for Sentence Similarity. 2022 IEEE 7th International Conference on Information Technology and Digital Applications (ICITDA). IEEE. 2022. Pp. 1-6.
13. Zherdeva M. V., Artyushenko V. M. Stemming and lemmatization in lucene. Net. Forest Bulletin. 2016. V. 20. No. 3. Pp. 131-134.
14. Bolshakova E. I., Vorontsov K. V., Efremova N. E., Klyshinsky E. S., Lukashevich N. V., Sapin A. S. Automatic processing of natural language texts and data analysis. Moscow: HSE Publishing House, 2017.
15. Kim M. Y., Rabelo J., Okeke K., Goebel R., Okeke K., Goebel R., et al. Legal Information Retrieval and Entailment Based on BM25, Transformer and Semantic Thesaurus Methods. The Review of Socionetwork Strategies 2022. V. 16. No. 1. Pp. 157-174.
16. Gao W., Peng M., Wang H., Zhang Y., Xie Q., Tian G. Incorporating word embeddings into topic modeling of short text. Knowl Inf Syst. 2019. V. 61. No. 2. Pp. 1123-45.
17. Pimpalkar A. P., Raj R. J. R. Influence of pre-processing strategies on the performance of ML classifiers exploiting TF-IDF and BOW features. Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal. 2020. V. 9. No. 2. Pp. 49-68.
18. Alsmadi I., Hoon G. K. Term weighting scheme for short-text classification: Twitter corpuses. Neural Comput Appl. 2019. V. 31. No. 8. Pp. 3819-3831.
19. Evangelopoulos N., Zhang X., Prybutok V. R. Latent Semantic Analysis: five methodological recommendations. European Journal of Information Systems. 2012. Vol. 21. No. 1. Pp. 70-86.
20. Bradford R. B. An empirical study of required dimensionality for large-scale latent semantic indexing applications. In: Proceedings of the 17th ACM conference on Information and knowledge management. New York, 2008. Pp. 153-162.
21. Beglaryan M. E., Dobrovolskaya N. Yu. Modeling and clustering in an automated enterprise security system. Legal informatics. 2018. No. 3. Pp. 38-46.
22. Sinaga K. P., Yang M. S. Unsupervised K-means clustering algorithm. IEEE Access. 2020. V. 8. Pp. 80716-80727.
23. Chizhik A. V. Using topic modeling methods to assess the degree of media influence on public mood. Computational linguistics and computational ontologies. 2021. No. 5. Pp. 70-78.
24. Van der Maaten L., Hinton G. Visualizing data using t-SNE. Journal of machine learning research. 2008. V. 9. No. 11.
25. Vasiliev Yu. Natural language processing. Python and spaCy in practice. St. Petersburg: "Publishing house "Piter", 2021.

Информация об авторах

Большев Вадим Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), ORCID: 0000-0002-5787-8581, e-mail: vadimbolshev@gmail.com

Author's Information

Bolshev Vadim Evgenievich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), ORCID: 0000-0002-5787-8581, e-mail: vadimbolshev@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-55

INFORMATION AND ANALYTICAL SOFTWARE PLATFORM FOR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT IN AGRICULTURE

Vasilev E. V., Maksimov D. A., Papushin E. A., Shalavina E.V., Mateichik S. N.

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) –
branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Saint Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author e-mail: papushinea@yandex.ru

Received 25.02.2025

Submitted 19.05.2025

Summary

The article presents the results of research on the development of an information and analytical software platform for environmental assessment in agriculture.

Abstract

Introduction. Agricultural production is the most important sector for ensuring human food security. This is still a problem today. The land use in the world is rather limited. Therefore, the main solution is to intensify the agricultural production, to transfer it to an industrial basis. This in turn increases the impact on the envi-

ronment. The negative consequences of these activities are becoming clearer. Planning for the development of agricultural production requires both economic and environmental assessments, with the latter playing an increasingly important role. This is not an easy task because agriculture has a large number of different objects and the nature of their environmental impacts varies. Completing the task is possible by incorporating much information and using digital tools. **Object.** The object of the research was software tools and digital platforms for assessing the environmental impact of agricultural technologies and making management decisions. **Materials and Methods.** The study applied the methods of system, functional and structural analysis, methods of environmental impact assessment of agricultural technologies, the data from the Federal State Statistics Service, open sources of literature and the Internet. The study used Visual Fox-Pro 9.0. DBMS to design the information analytical software platform. **Results and conclusions.** The developed information-analytical software platform is designed for ecological assessment of agroecosystems at different levels and for different tasks through the links between technological, methodological, and normative databases and the analytical block in its structure. The platform and all integrated programs and databases have received state registration. The platform was used to estimate methane and nitrous oxide emissions from the systems for collecting, storing and processing animal and poultry manure in the federal districts of the Russian Federation in 2022. In the whole Russian Federation, they amounted to 10927.78 thousand tons CO₂-eq/year. The Leningrad Region assessment identified annual methane emissions from manure processing systems of 0.878 thousand tons for cows, 0.323 thousand tons for other cattle, and 0.459 thousand tons for pigs. Annual nitrous oxide emissions from manure processing systems were 0.052 thousand tons for cows, 0.046 thousand tons for other cattle, and 0.04 thousand tons for pigs. The study evaluated a farm with 2115 cattle and compared different manure storage technologies. The assessment showed an increase in methane emissions of 0.9 tons when switching from passive composting with moisture absorbers to manure separation into fractions with long-term storage of the liquid fraction and composting of the solid fraction without moisture absorbers. Additional measures are needed to reduce emissions, such as the covers for manure storage tanks.

Keywords: agricultural production, environmental safety of agriculture, digital technologies, analytical software platforms.

Citation. Vasilev E. V., Maksimov D. A., Papushin E. A., Shalavina E. V., Mateichik S. N. Information and Analytical Software Platform for Environmental Assessment in Agriculture. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 493-504 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-55.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 004:631.95

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Васильев Э. В., кандидат технических наук

Максимов Д. А., кандидат технических наук

Папушин Э. А., кандидат технических наук

Шалавина Е. В., кандидат технических наук

Матейчик С. Н., инженер-программист

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) –
филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Актуальность. В статье представлены результаты исследований по разработке информационной аналитической программной платформы экологической оценки в сельском хозяйстве. Сельскохозяйственное производство – важнейшая отрасль, обеспечивающая продовольственную безопасность человечества, проблема которой сохраняется и в настоящее время. С учётом ограниченности возможностей использования земельного ресурса в мире основным направлением выступает интенсификация сельскохозяйственного производства, перевод его на индустриальную основу. В свою очередь, это усиливает воздействие на окружающую среду и проявляются негативные последствия проводимых мероприятий. При планировании развития сельскохозяйственного производства помимо экономического обоснования возрастает роль оценки его воздействия на окружающую среду. Учитывая значительное количество объектов в сельском хозяйстве и видов их воздействия, это довольно сложная задача, которая требует привлечения большого объёма информации и решение которой возможно на основе цифровых инструментов. **Объект.** Объектом исследований явились программные средства и цифровые платформы оценки экологического воздействия технологий сельскохозяйственного производства и принятия управленческих решений. **Материалы и методы.** В работе использованы методы системного и функционально-структурного анализа, методики оценки

воздействия на окружающую среду от технологий производства сельскохозяйственной продукции, данные Федеральной службы государственной статистики, открытых источников литературы и сети интернет. Реализация разработки осуществлялась в СУБД Visual FoxPro 9.0. **Результаты и выводы.** Разработана информационно-аналитическая программная платформа экологической оценки агроэкосистем, позволяющая проводить экологическую оценку на различных уровнях и для различных задач за счёт предусмотренных её структурой связей между технологическими, методическими, нормативными базами данных и аналитическим блоком. Получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681867 от 16.09.2024, а также всех программ и баз данных, входящих в неё. С её использованием проведена оценка выбросов метана и закиси азота от систем сбора, хранения, переработки навоза и помета для федеральных округов РФ в 2022 году. В эквиваленте CO₂ в целом по РФ они составили 10927,78 тыс. тонн за год. Оценка, проведённая по Ленинградской области, позволила определить годовые выбросы метана от систем переработки навоза, которые составили для коров – 0,878 тыс. т, для остального поголовья КРС – 0,323 тыс. т, для свиней – 0,459 тыс. т. Годовые выбросы закиси азота от систем переработки навоза для коров составили 0,052 тыс. т, для остального поголовья КРС – 0,046 тыс. т, для свиней – 0,04 тыс. т. При оценке сельхозпредприятия с поголовьем КРС 2115 голов при сравнении различных технологий хранения навоза было выявлено увеличение выбросов метана на 0,9 т при переходе с технологии пассивного компостирования с влагопоглотителем на технологию разделения навоза на фракции с длительным выдерживанием жидкой фракции и компостированием твёрдой фракции без влагопоглотителя. Для снижения выбросов необходимы дополнительные мероприятия, например, использование крышек для резервуаров с навозом.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, экологическая безопасность сельского хозяйства, цифровые технологии, аналитические программные платформы.

Цитирование. Васильев Э. В., Максимов Д. А., Папушин Э. А., Шалавина Е. В., Матейчик С. Н. Информационно-аналитическая программная платформа экологической оценки в сельском хозяйстве. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 493-504. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-55.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании и выполнении данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сельское хозяйство является одной из важнейших отраслей в мировой экономике, которая обеспечивает продовольственную безопасность населения и с которой тесно связаны другие отрасли. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) в сельском хозяйстве занято порядка 1,2 млрд трудоспособного населения и на его долю приходится 39,4 % внутреннего валового продукта (ВВП) [1, 2].

Проблема продовольственной безопасности в мире сохраняется и в настоящее время для ряда развивающихся стран Африки, Азии и Латинской Америки. Её причины в низком уровне развития в данных странах сельского хозяйства и трудности обеспечения продовольствием.

Основным средством производства и предметом труда в сельском хозяйстве являются плодородные почвы, по различным источникам их в мировом сельском хозяйстве используется от 15707 до 18703 млн га. По данным ФАО в период с 1961 по 2016 год площадь пахотных земель на душу населения в мире в связи с его постоянным ростом сократилась – с 0,45 гектара на душу населения в 1961 году до 0,21 гектара в 2016 году [3, 4]. Данный ресурс на нашей планете имеет конечное значение, часть земель по различным причинам попросту непригодны для использования в сельском хозяйстве, поэтому увеличение сельскохозяйственного производства путём расширения землепользования в данном направлении имеет существенное ограничение.

Основным путём решения продовольственной проблемы становится интенсификация сельскохозяйственного производства, включающая в себя комплекс мер, основывающихся на процессах селекции, мелиорации, химизации, механизации и автоматизации.

Реализация данного подхода под названием «зелёная революция» получила развитие в шестидесятые годы прошлого века. Её результаты имели зримые успехи. Резко, в 2-3 раза, увеличилась урожайность, а с ней возросло производство продовольствия и снизилась острота проблемы по обеспечению им населения.

В то же время, вместе с полученными положительными результатами усилилось влияние нежелательных экологических последствий. Ошибки в мелиоративных работах ведут к засолению и эрозии почв. Использование высоких доз минеральных удобрений вы-

зывает подкисление почв и снижение доступности необходимых для растений элементов питания. Использование химических средств защиты влечет за собой изменение в структуре микробного сообщества, снижение численности полезных микроорганизмов и насекомых.

Проводимые мероприятия в рамках интенсификации сельскохозяйственного производства, наряду с повышением продуктивности формируемых агроэкосистем, приводят к снижению их видового разнообразия и, соответственно, нарушению систем саморегуляции. Устойчивость таких систем полностью зависит от деятельности человека.

Стремление снизить экономические издержки при производстве продукции животноводства и птицеводства привело к высокой концентрации поголовья на современных фермах и комплексах, что усиливает экологические риски не только для территорий, прилегающих к ним, но зачастую и всего региона в целом. Наибольшее влияние на окружающую среду оказывает система обращения с органическими отходами животноводства [5, 6].

Из анализа данных, представленных Федеральной службой государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>), принимая во внимание нормативные данные из РД-АПК 1.10.15.02-17* «Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета», видно, что доля учтённого использования образующегося навоза и помёта в качестве органических удобрений довольно низкая и не превышает 50 %, а значит, возможные бесконтрольные потери создают высокий риск загрязнения окружающей среды.

Серьёзную опасность представляют стоки от животноводческих и птицеводческих предприятий, содержащие азот, фосфор, серу и другие биогенные элементы, – при попадании в водоёмы они вызывают их эвтрофикацию.

Согласно разделу «Тенденции изменения выбросов и абсорбции парниковых газов» Национального доклада о кадастре антропогенных выбросов [7] и данным Росстата¹ выбросы от сектора «Сельское хозяйство» составили в 2022 году 102,3 млн тонн CO₂-экв. без учёта статистической информации по Донецкой Народной Республике (ДНР), Луганской Народной Республике (ЛНР), Запорожской и Херсонской областям. Основные источники выбросов в атмосферу при производстве животноводческой продукции – это внутренняя ферментация животных и системы обращения с органическими отходами. От сектора «Животноводство» в Европейской части Российской Федерации выделяется около 80 % суммарных выбросов аммиака (NH₃).

Исходя из вышесказанного, при планировании и осуществлении сельскохозяйственного производства в настоящее время помимо экономических вопросов большую роль играет оценка его воздействия на окружающую среду и возрастает значимость разработок в данном направлении [8, 9].

Возрастание антропогенной нагрузки на окружающую среду, население и отрасли экономики отмечено в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 28.02.2024 № 145 ([URL: https://docs.cntd.ru/document/1305071057?marker=6540IN](https://docs.cntd.ru/document/1305071057?marker=6540IN)). В ней ставится задача обеспечения продовольственной безопасности России и снижения технологических рисков в агропромышленном комплексе; обозначена актуальность перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, а также обращено внимание на объективную оценку выбросов и поглощение климатически активных веществ, снижение их негативного воздействия на окружающую среду и климат.

Всё это подтверждает актуальность работ, направленных на оценку, прогнозирование и регулирование антропогенного воздействия на окружающую среду от технологий сельскохозяйственного производства [10, 11].

Учитывая большое количество участвующих в процессе оценки объектов и различные виды их воздействий, необходимо понимать, что задача является сложной, требующей задействования большого объёма информации. Эффективное решение этой задачи возможно на основе цифровых технологий с использованием платформенных решений и онлайн сервисов [11, 12]. На развитие данного направления нацеливает и Распоряжение

¹Основные показатели охраны окружающей среды: статистический бюллетень: Федеральная служба государственной статистики (Росстат) М., 2023. – 105 с. URL https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2023.pdf

Правительства РФ от 15 декабря 2023 г. № 3664-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования, относящейся к сфере деятельности Министерства природных ресурсов и экологии» (URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_465400/).

Целью работы стала разработка информационной аналитической программной платформы экологической оценки агроэкосистем (ИАПП), которая представляет собой единую структуру, позволяющую обеспечивать связь с нормативными базами и справочниками, вести сбор, хранение первичной информации и её обработку аналитическим блоком в зависимости от поставленной задачи с предоставлением результата в требуемом виде по установленным формам.

Материалы и методы. При формировании программ разрабатываемой системы применялись методы системного и функционально-структурного анализа, были использованы официально принятые и прошедшие апробацию методики оценки воздействия на окружающую среду технологий производства сельскохозяйственной продукции. При формировании баз данных использованы данные Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/>), из открытых литературных источников и сети интернет.

Реализации системы осуществлялась в среде разработки программного обеспечения Visual FoxPro 9.0 – объектно-ориентированная система управления базами данных (БД).

Результаты и обсуждение. Разрабатываемая система предусматривает работу на разных уровнях:

1 макроуровень – экологическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства осуществляется в целом для всей Российской Федерации;

2 региональный уровень, где возможна оценка отдельно для каждого субъекта Российской Федерации;

3 детальный уровень – расчёты осуществляются для конкретных сельхозпредприятий или локальных агроэкосистем.

С учётом этого, а также того, что рассматриваемая предметная область включает в себя большое количество разнообразных как объектов, так и видов оказываемых ими воздействий [9], для оценки влияния которых необходимо использование различных методик и моделей, был реализован блочный подход для реализации задач через отдельные подсистемы, являющиеся независимыми компонентами, отдельными программами, взаимодействующими единой цифровой платформой.

Для этого был разработан общий алгоритм работы ИАПП с подсистемами, представленный в работе [14]. В соответствии с алгоритмом предусмотрена возможность выбора как уровня, так и направления решаемой задачи, с запуском соответствующих подсистем, работающих по своим частным алгоритмам.

На макро- и региональном уровнях возможно осуществление экологической оценки на основании данных, представленных по ним в базе данных платформы на основе информации Федеральной службы государственной статистики. При работе на уровне предприятий, а также локальных агроэкосистем помимо экологической возможна экономическая оценка. Для этого в базу данных платформы должна быть загружена информация по оцениваемым объектам специалистами их представляющими.

Разработанная ИАПП включает в себя следующие подсистемы

1. Расчёт климатически активных веществ (метана и закиси азота) в животноводстве.
 - 1.1. Выбросы метана в результате внутренней ферментации.
 - 1.2. Выбросы метана в результате сбора и хранения навоза/помета.
 - 1.3. Выбросы закиси азота в результате сбора и хранения навоза/помета.
2. Оценка воздействия диффузной нагрузки на водные объекты.
3. Эффективность использования питательных веществ.
4. Технологии и технические средства рециклинга побочных продуктов животноводства.
5. Нормативно-законодательная документация по агроэкологии.

Вид стартовой страницы ИАПП представлен на рисунке 1.

Инвентаризация парниковых газов осуществляется по разработанным Минприроды России методическим рекомендациям [Распоряжение Минприроды России от 16 апреля 2015 г. № 15–р «Об утверждении Методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации»] (<https://docs.cntd.ru/document/420278225>).



Рисунок 1 – Стартовая страница ИАПП
Figure 1 – Home page of Information Analytical Software Platform

Для учета распределенной нагрузки на водные объекты используется методика оценки диффузного поступления азота и фосфора от ведения сельскохозяйственной деятельности, разработанная в ИАЭП для российской части водосборного бассейна Балтийского моря, а затем апробированная и для условий Средней Волги [15, 16]. Методика базируется на определении потерь азота и фосфора из корнеобитаемого горизонта в зависимости от вида обрабатываемых почв, внесения минеральных и органических удобрений, выноса питательных элементов с урожаем, а также структуры сельскохозяйственных угодий и соответствующих приёмов обработки почвы.

Эффективность использования питательных веществ в агроэкосистеме определяется на основании оценки потока питательных веществ (азота) через коэффициент его использования NUE , как безразмерную величину или в процентах $NUE = N_{вых} / N_{вх}$ или $NUE = (N_{вых} / N_{вх}) 100, \%$, где $N_{вых}$ – количество питательных веществ на выходе, $N_{вх}$ – количество питательных веществ на входе в оцениваемую систему. Схема расчёта NUE на основе азотного баланса представлена на рисунке 2.

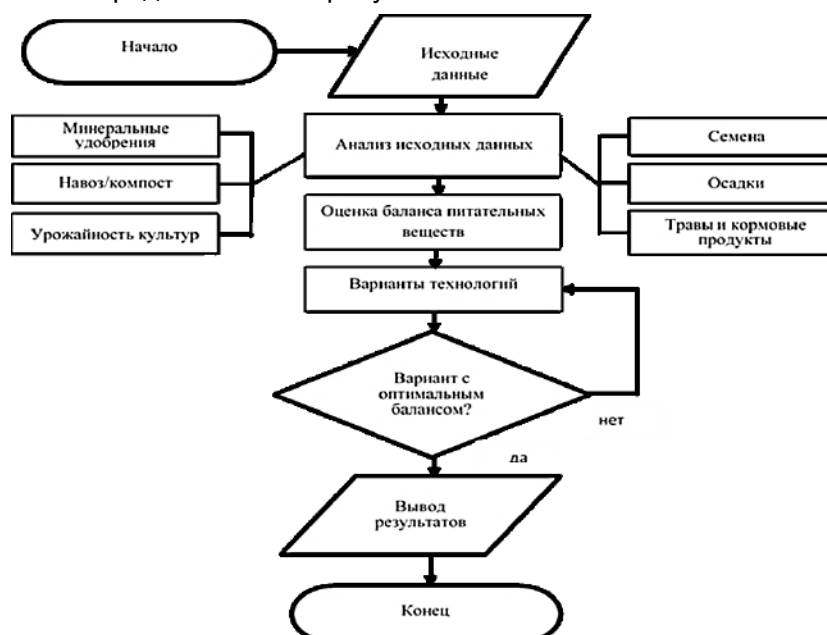


Рисунок 2 – Схема расчёта эффективности использования питательных веществ
Figure 2 – Nutrient Use Efficiency calculation scheme

Исходные данные для оценки эффективности использования питательных веществ представлены несколькими группами. Первая группа – данные о количестве посеянных семян сельскохозяйственных культур. Вторая группа – данные о внесенных минеральных и органических удобрениях. Третья группа – справочные данные о содержании азота в убранный урожай в процентах по каждой рассматриваемой культуре.

Учитывая, что существенное влияние на состояние окружающей среды оказывают технологические процессы работы с сельскохозяйственными отходами, в том числе побочными продуктами животноводства, для их оценки присутствует подсистема технологий рециклинга побочных продуктов животноводства. Она разработана на основе анализа используемых технологий переработки навоза и помёта и общего подхода к построению ИАПГ.

Общая схема функционирования подсистемы представлена на рисунке 3.

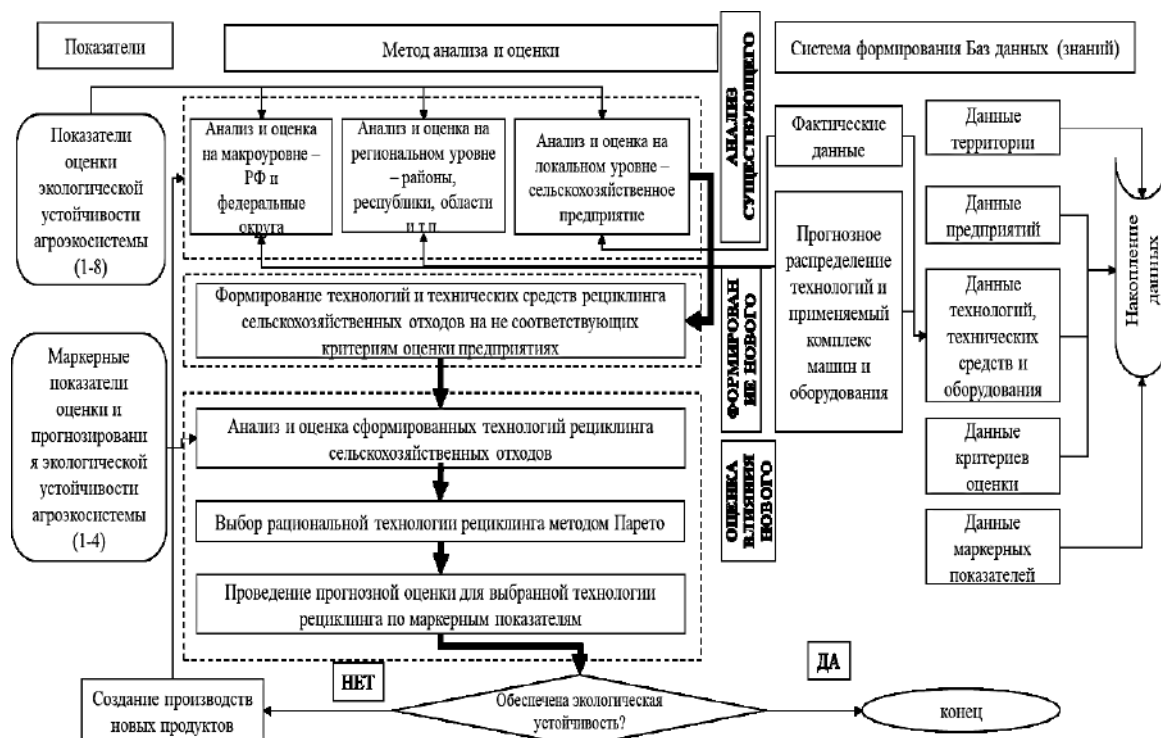


Рисунок 3 – Схема функционирования системы для проектирования и управления технологиями рециклинга сельскохозяйственных отходов

Figure 3 – System operating scheme for designing and managing agricultural waste recycling technologies

Данная подсистема позволяет на всех трёх уровнях оценивать используемые технологии рециклинга по следующим показателям:

1. Выбросы метана от систем переработки навоза и помёта.
2. Выбросы закиси азота от систем переработки навоза и помёта.
3. Баланс питательных веществ на уровне поля.
4. Диффузная нагрузка.
5. Выбросы аммиака от систем переработки навоза и помёта.
6. Затраты на электроэнергию и топливо при переработке навоза и помёта.
7. Количественные и качественные характеристики готовой продукции: масса, содержание общего азота, углерода и влажность.
8. Себестоимость переработки 1 тонны навоза/помёта и получения 1 тонны готовой продукции.

При анализе и оценке на макро и региональном уровнях используются статистические данные и прогноз распределения технологий и технических средств.

Подсистема «Нормативно-законодательная документация по агроэкологии» предназначена для накопления нормативно-законодательной, методической и справочной информации для обеспечения научных исследований, проектных работ по развитию сельскохозяйственного производства и формирования информационных справок. Функционал си-

стемы позволяет оперативно находить необходимые материалы, методики и нормативы при экологической оценке сельскохозяйственных предприятий, планировании работ по их развитию с учётом экологических требований и соответственно проводить необходимые расчёты по экологической оценке. В базе находится более 600 документов. В соответствии с разработанным алгоритмом поиск материалов, с возможностью их дальнейшей выгрузки в приложение EXCEL, может осуществляться как с помощью меню, отражающего структуру базы, так и по ключевым словам, и их сочетаниям [9].

Представление получаемых результатов возможно как в графическом виде на карте, так и по установленным текстовым формам. Пример вывода результатов расчёта приведён на рисунке 4.

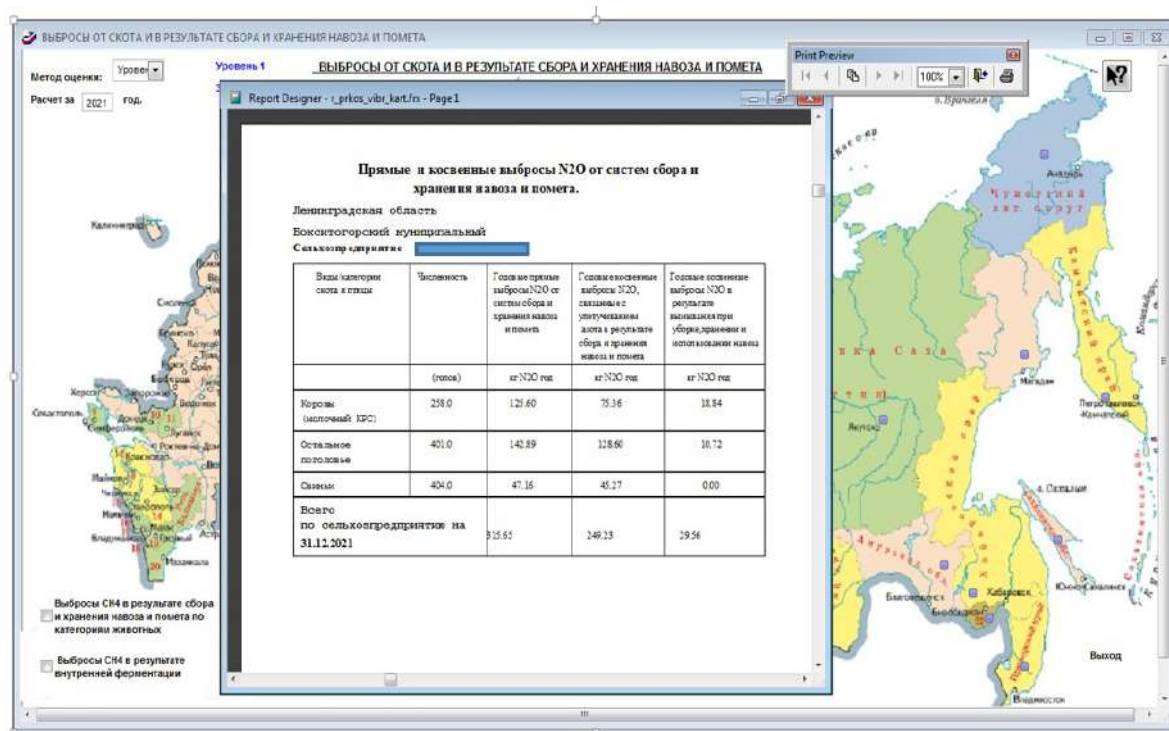


Рисунок 4 – Результаты расчёта выбросов закиси азота от систем сбора и хранения навоза для сельскохозяйственного предприятия

Figure 4 –Calculation results of nitrous oxide emissions from manure collection and storage systems for an agricultural enterprise

На используемые в ИАПП программные продукты и базы данных получены Свидетельства о государственной регистрации: «Интеллектуальная аналитическая программная платформа оценки экологической безопасности, прогнозирования и управления сельскохозяйственными экосистемами» (№ 2024681867 от 16.09.2024.); «Анализ нормативно-законодательной информации по Агроэкологии» (№ 2023683643 от 09.11.2023); «Программа оценки диффузной нагрузки на водные объекты при производстве сельскохозяйственной продукции» (№ 2022684376 от 13.12.2022); «База данных климатически активных веществ (метана и закиси азота) в животноводстве» (2023623756 от 03.11.2023); «База данных содержания углерода и азота в навозе по субъектам Российской Федерации» (№ 2024623348 от 29.07.2024).

Используя ИАПП, была проведена оценка выбросов от систем сбора, хранения, переработки навоза и помета для федеральных округов РФ в 2022 году. Расчёт был осуществлён по 1 уровню методики МГЭИК² с учётом их климатических условий, на основе статистических данных по видам и категориям поголовья животных и птицы. Результаты представлены в таблице 1.

² Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов: в 5 т. МГЭИК, 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>

Таблица 1 – Результаты расчета выбросов от систем сбора, хранения, переработки навоза и помета по федеральным округам РФ по данным 2022 года

Table 1 – Calculation results of emissions from the systems of animal and poultry manure collection, storage and processing by federal districts of the Russian Federation according to 2022 data

№	Федеральный округ / Federal District	Выбросы метана от систем переработки навоза и помета, тыс. тонн за год / Methane emissions from manure and manure processing systems, thousand tonnes per year	Выбросы закиси азота от систем переработки навоза и помета, тыс. тонн за год / Nitrous oxide emissions from manure and manure processing systems, thousand tonnes per year	Эмиссии в CO ₂ эквиваленте, тыс. тонн за год / Emissions in CO ₂ equivalent, thousand tons per year
1	ЦФО / Central Federal District	63,50	4,42	2905,32
2	СЗФО / Northwestern Federal District	11,09	0,97	565,60
3	ЮФО / Southern Federal District	26,13	2,30	1338,69
4	СКФО / NCFD	25,99	2,21	1309,57
5	ПФО / Volga Federal District	45,31	4,24	2396,69
6	УФО / Ural Federal District	10,14	0,92	528,73
7	СФО / Siberian Federal District	24,38	2,52	1360,67
8	ДФО / Far Eastern Federal District	8,81	1,01	522,50
	ИТОГО / TOTAL	215,35	18,60	10927,78

В целом по РФ в 2022 году, выбросы метана и закиси азота от систем сбора, хранения и переработки навоза в эквиваленте CO₂ составили 10927,78 тыс. тонн за год, по данным из национального доклада о кадастре – 9912,3 тыс. тонн за год [7]. Расхождение объясняется учетом тенденции перехода к беспривязному содержанию в молочном животноводстве и увеличению доли жидкого навоза.

Использование ИАПП возможно и на уровне субъектов округов, а также для конкретных предприятий. Так, были проведены расчёты по 2 уровню методики МГЭИК выбросов метана и закиси азота от систем хранения навоза для КРС и свиней на примере Ленинградской области по состоянию на 30.12.2022 г.

Получены следующие результаты:

- годовые выбросы метана от систем переработки навоза, для коров составили 0,878 тыс. т, для остального поголовья КРС – 0,323 тыс. т, для свиней – 0,459 тыс. т.

- годовые выбросы закиси азота от систем переработки навоза, для коров составили 0,052 тыс. т, для остального поголовья КРС – 0,046 тыс. т, для свиней – 0,04 тыс. т.

При оценке сельхозпредприятия с поголовьем КРС 2115 голов с использованием различных технологий хранения навоза получены следующие результаты:

- при использовании пассивного компостирования в буртах годовые выбросы метана от систем хранения навоза составили 2,270 т;

- при использовании длительного выдерживания жидкой фракции с естественной коркой (объем 60 %) и пассивного компостирования в буртах (объем 40 %) выбросы метана от систем хранения навоза составили 3,176 т в год.

Увеличение выбросов на 0,9 т произошло при переходе на технологию длительного выдерживания жидкой фракции. Для снижения выбросов необходимы дополнительные мероприятия, например, использование крышек для резервуаров с навозом.

Заключение. Основной путь решения проблемы продовольственной безопасности лежит через интенсификацию сельскохозяйственного производства, но это в свою очередь ведёт к усилению его негативного воздействия на окружающую среду. Поэтому при планировании развития сельскохозяйственной деятельности, помимо экономической оценки, необходимо проводить оценку её воздействия на окружающую среду. Данная задача осложняется тем, что в

рассматриваемых процессах задействовано большое количество объектов с различными видами воздействия. Повышение эффективности её решения возможно на основе использования цифровых инструментов, формирования программного обеспечения и соответствующих платформ на их основе.

Разработанная информационно-аналитическая программная платформа экологической оценки агроэкосистем позволяет проводить экологическую оценку на различных уровнях за счёт предусмотренных её структурой связей между технологическими, методическими, нормативными базами данных и аналитическим блоком.

С использованием платформы была проведена оценка выбросов метана и закиси азота от систем сбора, хранения и переработки навоза для федеральных округов РФ в 2022 году, которые в эквиваленте CO_2 в целом по РФ составили 10927,78 тыс. тонн за год. Оценка, проведённая по Ленинградской области, позволила определить годовые выбросы метана от систем переработки навоза, которые составили для коров – 0,878 тыс. т, для остального поголовья КРС – 0,323 тыс. т, для свиней – 0,459 тыс. т. Годовые выбросы закиси азота от систем переработки навоза, для коров составили 0,052 тыс. т, для остального поголовья КРС – 0,046 тыс. т, для свиней – 0,04 тыс. т.

Расчёты, проведённые для сельхозпредприятия Ленинградской области с поголовьем КРС 2115 голов, показали, что при переходе с технологии пассивного компостирования в буртах с использованием влагопоглотителя на сепарацию исходного материала с длительным выдерживанием образующейся жидкой фракции и пассивным компостированием в буртах твёрдой фракции без влагопоглотителя происходит увеличение выбросов метана на 0,9 т. Для снижения выбросов необходимы дополнительные мероприятия, например, использование крышек для резервуаров с навозом.

Разработка платформы осуществлена в объектно-ориентированной СУБД Visual FoxPro 9.0. Получены Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных, входящих в платформу.

Conclusions. The main way to solve the problem of food security is through the intensification of agricultural production, but this, in turn, leads to an increase in its negative impact on the environment. Therefore, when planning the development of agricultural activities, in addition to economic assessment, it is necessary to assess its impact on the environment. This task is complicated by the fact that a large number of objects with different types of impact are involved in the processes under consideration. It is possible to increase the efficiency of its solution through the use of digital tools, the formation of software and relevant platforms based on them.

The developed information and analytical software platform for the environmental assessment of agroecosystems makes it possible to carry out environmental assessment at various levels due to the links between technological, methodological, regulatory databases and the analytical block provided for by its structure.

Using the platform, methane and nitrous oxide emissions from manure collection, storage and processing systems for the federal districts of the Russian Federation in 2022 were estimated, which in CO_2 equivalent in the Russian Federation as a whole amounted to 10927.78 thousand tons per year. The assessment carried out in the Leningrad region made it possible to determine the annual methane emissions from manure processing systems, which amounted to 0.878 thousand tons for cows, 0.323 thousand tons for the rest of the cattle livestock, and 0.459 thousand tons for pigs.

Calculations carried out for an agricultural enterprise in the Leningrad region with a cattle population of 2115 heads showed that when switching from the technology of passive composting in piles using a desiccant to the separation of the source material with long-term holding of the resulting liquid fraction and passive composting in piles of a solid fraction without a desiccant, there is an increase in methane emissions by 0.9 tons. For example, the use of manure tank covers.

The platform was developed in the object-oriented DBMS Visual FoxPro 9.0. Certificates of state registration of computer programs and databases included in the platform were obtained.

Библиографический список

1. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome. <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.
2. Фурман В. В. Роль сельского хозяйства в современной мировой экономике. Потенциал российской экономики и инновационные пути его реализации: материалы всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. Омск, 2022. С. 241-243.
3. Гавва Е. С., Белов Д. С., Толстова А. Н., Гусева В. Е., Пахомова Т. В., Волощук Л. А. Современные тенденции развития мирового сельского хозяйства. Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: материалы VII Международной научно-практической конференции. Саратов, 2023. С. 83-87.
4. Устойчивое производство продовольствия и ведение сельского хозяйства. <https://www.fao.org/sustainability/news/news/ru/c/1287543/>

5. Кузьмина Т. Н., Мишуров Н. П., Сви́нарев И. Ю., Малородов В. В., Брюханов А. Ю. Технологическое развитие свиноводства и птицеводства при реализации модели экологического нормирования агропромышленного комплекса с учетом концепции наилучших доступных технологий: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 136 с.
6. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Хухта Х., Васильев Э. В. Информационная система для мониторинга и управления органическими отходами животноводства. *АгроЭкоИнженерия*, 2021. № 4 (109). С. 94-106.
7. Романовская А. А. и др. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2022 гг. М.: Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ», 2024. 479 с. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RUS_NIR_2024_v1_2024-11-08.pdf.
8. Путивская Т. Б., Подсеваткина Е. А. Эколого-экономическая устойчивость сельского хозяйства как стратегическая цель национальной безопасности. *Экономика сельского хозяйства России*. 2023. № 9. С. 31-41.
9. Максимов Д. А., Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Папушин Э. А., Матейчик С. Н. Информационно-аналитическая система обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственного производства. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2024. № 1 (73). С. 337-346.
10. Genstwa N., Zmyślona J. Greenhouse gas emissions efficiency in Polish agriculture. *Agriculture*. 2024. No 14 (1). P. 56.
11. Višković M. I., Đatkov Đ. M., Nesterović A. Ž., Martinov M. L., Cvetković S. M. Manure in Serbia – quantities and greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Sciences*. 2022. No 67 (1). Pp. 29-46.
12. Алексеева С. А., Баранова С. В. Цифровая трансформация отраслей агропромышленного комплекса России. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2022. № 2 (84). С. 12-19.
13. Папушин Э. А., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Матейчик С. Н. Интеллектуальные аналитические программные платформы для сельскохозяйственного производства. *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 1 (110). С. 52-65.
14. Васильев Э. В., Папушин Э. А., Максимов Д. А., Матейчик С. Н. Алгоритм функционирования информационной аналитической программной платформы оценки экологической безопасности агроэкосистем. *АгроЭкоИнженерия*. 2024. № 3 (120). С. 145-157.
15. Кондратьев С. А., Брюханов А. Ю., Поздняков Ш. Р., Пузанов А. В., Жерелина И. В., Шмакова М. В., Васильев Э. В., Руслова А. М., Бабошкина С. В., Обломкова Н. С. Оценка нагрузки биогенными и загрязняющими веществами на российскую часть р. Иртыш. *География и природные ресурсы*, 2024. № 1. С. 41-53.
16. Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Филатов Н. Н., Васильев Э. В., Обломкова Н. С. Методика сбора исходных данных для оценки диффузного сельскохозяйственного загрязнения водных объектов (на примере водосборного бассейна Онежского озера). *Труды Карельского научного центра РАН*. 2024. № 2. С. 95-107.

References

1. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome. <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.
2. Furman V. V. The role of agriculture in the modern world economy. Potential of the Russian economy and innovative ways of its implementation: materials of the all-Russian scientific and practical conference of students and postgraduates. Omsk, 2022. Pp. 241-243.
3. Gavva E. S., Belov D. S., Tolstova A. N., Guseva V. E., Pakhomova T. V., Voloshchuk L. A. Modern trends in the development of world agriculture. Economic and mathematical methods for analyzing the activities of agricultural enterprises: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 110th anniversary of Vavilov University. Saratov, 2023. Pp. 83-87.
4. Sustainable food production and agriculture. <https://www.fao.org/sustainability/news/news/ru/c/1287543>.
5. Kuzmina T. N., Mishurov N. P., Svinarev I. Yu., Malorodov V. V., Bryukhanov A. Yu. Technological development of pig and poultry farming in the implementation of the environmental standardization model for the agro-industrial complex, taking into account the concept of the best available technologies: analytical review. M.: FGBNU "Rosinformagrotech", 2022. 136 p.
6. Bryukhanov A. Yu., Shalavina E. V., Khukhta H., Vasiliev E. V. Information system for monitoring and managing organic waste from livestock farming. *AgroEcoEngineering*. 2021. No. 4 (109). Pp. 94-106.
7. Romanovskaya A. A. et al. National Report on the Inventory of Anthropogenic Emissions from Sources and Absorption by Sinks of Greenhouse Gases Not Regulated by the Montreal Protocol for 1990-2022. 479 p. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RUS_NIR_2024_v1_2024-11-08.pdf.
8. Putivskaya T. B., Podsevatkina E. A. Environmental and economic sustainability of agriculture as a strategic goal of national security. *Economics of Agriculture in Russia*. 2023. No 9. Pp. 31-41.
9. Maksimov D. A., Bryukhanov A. Yu., Vasiliev E. V., Papushin E. A., Mateychik S. N. Information and analytical system for ensuring environmental safety of agricultural production. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2024. No 1 (73). Pp. 337-346.
10. Genstwa N., Zmyślona J. Greenhouse gas emissions efficiency in Polish agriculture. *Agriculture*. 2024. No 14 (1). P. 56.
11. Višković M. I., Đatkov Đ. M., Nesterović A. Ž., Martinov M. L., Cvetković S. M. Manure in Serbia – quantities and greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Sciences*. 2022. No 67 (1). Pp. 29-46.
12. Alekseeva S. A., Baranova S. V. Digital transformation of the sectors of the agro-industrial complex of Russia. *Economy, labor, management in agriculture*. 2022. No 2 (84). P. 12-19.
13. Papushin E. A., Vasilyev E. V., Shalavina E. V., Mateychik S. N. Intelligent Analytical Software Platforms for Agricultural Production. *AgroEcoEngineering*. 2022. № 1 (110). Pp. 52-65.
14. Vasilyev E. V., Papushin E. A., Maksimov D. A., Mateychik S. N. Algorithm for the Functioning of the Information Analytical Software Platform for Assessing the Environmental Safety of Agroecosystems. *AgroEcoEngineering*. 2024. № 3 (120). Pp. 145-157.
15. Kondratyev S. A., Bryukhanov A. Yu., Pozdnyakov Sh. R., Puzanov A. V., Zherelina I. V., Shmakova M. V., Vasiliev E. V., Ruslova A. M., Baboshkina S. V., Oblochkova N. S. Assessment of the load of biogenic and polluting substances on the Russian part of the Irtysh River. *Geography and natural resources*. 2024. No. 1. Pp. 41-53.

16. Bryukhanov A. Yu., Kondratyev S. A., Filatov N. N., Vasiliev E. V., Oblomkova N. S. Methodology for collecting initial data for assessing diffuse agricultural pollution of water bodies (using the Onega Lake catchment area as an example). Transactions of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2024. No. 2. Pp. 95-107.

Информация об авторах

Васильев Эдуард Вадимович, кандидат технических наук, заведующий отделом, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: sznii6@yandex.ru

Максимов Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: maximov@sznii.ru

Папушин Эдуард Александрович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: papushinea@yandex.ru

Шалавина Екатерина Викторовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: shalavinaev@mail.ru

Матейчик Светлана Николаевна, инженер-программист, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: cet_nord@yahoo.com

Authors' Information

Vasilev Eduard Vadimovich, Candidate of Engineering Sciences, Head of Department, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – the branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: sznii6@yandex.ru

Maksimov Dmitry Anatolievich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – the branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: maximov@sznii.ru

Papushin Eduard Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – the branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: papushinea@yandex.ru

Shalavina Ekaterina Viktorovna, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – the branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: shalavinaev@mail.ru

Mateichik Svetlana Nickolaevna, Software Development Engineer, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – the branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: cet_nord@yahoo.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-56

THE TELEMATICS EFFICIENCY IN THE TECHNICAL OPERATION OF VEHICLES

Kolotov A. S., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Ushanev A. I., Yumaev D. M., Filyushin O. V.

*Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: anton.kolotov.89@mail.ru

Received 11.02.2025

Submitted 16.04.2025

The research was carried out under contract No. 6-2024 for conducting scientific research work at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education.

Abstract

Introduction. The significance of this study lies in the study of the possibilities of using modern information technologies to improve efficiency in the field of automobile transport services. **Object.** The object of analysis is the implementation of these technologies in the motor transport sector, which includes a number of key points, monitoring of driver work shifts, verification of the implementation of pre-approved routes and control over the weight of trucks. **Materials and methods.** To effectively achieve the stated objectives of the study, we used a variety of methods and data. The basis of our methodological approach was a thorough analysis of the information obtained through tachographs installed in vehicles. The key aspect was not only the analysis of tachograph data, but also the contribution of information from the Platon system and weight control, which significantly enriched our understanding of the problem. The use of this multifaceted approach, based on advanced technologies, allows us to open up new directions for improving operations in the road transport sector, representing significant progress in this area. **Results and conclusion.** The results of the analysis showed that the integration of advanced information technologies into the processes of automobile transport management has a significant positive impact on the efficiency of this sector. In particular, it was found that such innovations not only improve the technical reliability of vehicle fleets, but also effectively reduce financial losses associated with logistics and cargo delivery. The study of the data points to the critical role of information technologies in the automotive industry. These technologies ensure increased production efficiency and improved logistics management, being the key to success in a dynamic market. Based on the analysis, it is clear that the implementation of IT in the automotive industry is not only important for the current stage, but also essential for progress and strengthening the positions of companies in the industry in the future.

Keywords: *telematics, car braking system, road transport management, motor transport services.*

Citation. Kolotov A. S., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Ushanev A. I., Yumaev D. M., Filyushin O. V. The telematics efficiency in the technical operation of vehicles. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 504-511 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-56.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 629.058

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕЛЕМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТА

Колотов А. С., кандидат технических наук, доцент
Успенский И. А., доктор технических наук, профессор
Юхин И. А., доктор технических наук, профессор
Ушанев А. И., кандидат технических наук, доцент
Юмаев Д. М., кандидат технических наук
Филюшин О. В., кандидат технических наук

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева
г. Рязань, Российская Федерация

Исследование выполнено по договору № 6-2024 на проведение научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ.

Актуальность. Значимость данного исследования заключается в изучении возможностей применения современных информационных технологий для повышения эффективности в сфере автомобильных транспортных услуг. **Объект.** Объектом анализа выступает внедрение данных технологий в секторе автотранспорта, включающее ряд ключевых моментов: мониторинг рабочих смен водителей, верификацию выполнения заранее утвержденных маршрутов и контроль над массой грузовиков. **Материалы и методы.** Для эффективного достижения заявленных в исследовании целей использовалось многообразие методик и данных. Основой нашего методического подхода стал тщательный анализ информации, полученной через тахографы, установленные в автомобилях. Ключевым аспектом стала не только аналитика данных тахографов, но и вклад информации от системы «Платон» и весового контроля, что существенно обогатило наше понимание проблемы. Использование данного многогранного подхода, опирающегося на передовые технологии, позволяет открывать новые направления для улучшения операций в секторе автомобильных перевозок, представляя значительный прогресс в этой области. **Результаты и выводы.** Из результатов выполненного анализа выяснилось, что интеграция передовых информационных технологий в процессы управления автомобильным транспортом оказывает значительное положительное воздействие на эффективность работы этой сферы. В частности, выявлено, что подобные инновации не только улучшают техническую надежность автопарков, но и эффективно сокращают финансовые потери, связанные с логистикой и доставкой грузов. Исследование данных указывает на критическую роль информационных технологий в автомобилестроении. Эти технологии обеспечивают повышение эффективности производства и совершенствование управления логистикой, являясь ключом к успеху на динамичном рынке. Исходя из анализа, ясно, что внедрение ИТ в автомобильную индустрию не только важно для текущего этапа, но и обязательно для прогресса и укрепления позиций компаний в отрасли в будущем.

Ключевые слова: *телематика, тормозная система автомобилей, управление автомобильным транспортом, автотранспортные услуги.*

Цитирование. Колотов А. С., Успенский И. А., Юхин И. А., Ушанев А. И., Юмаев Д. М., Филюшин О. В. Эффективность телематики в технической эксплуатации автотранспорта. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 504-511. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-56.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Введение. Интеграция информационных технологий в сектор автотранспортных перевозок становится ключевой стратегией для усиления экономической эффективности и конкурентоспособности. Это напрямую способствует повышению производительности труда, минимизации потерь в процессе доставки грузов и улучшению условий для поддержания транспортных средств в оптимальном состоянии. Внедрение информационных технологий в управление транспортными процессами дает возможность осуществлять всесторонний контроль над работой автомобиля [4, 5], что обеспечивает:

- регулирование трудового графика водителей (устройство тахограф);

- контроль над проездом по маршрутам («Платон»);
- контроль массы транспортного средства;
- контроль температуры кузова;
- сохранность груза (бортовая диагностика).

Система управления техобслуживанием авто, автоматически синхронизирующаяся с платформой управления автопарком FMS, эффективно отслеживает текущее состояние каждого грузовика, передавая актуализированные данные о его техническом состоянии [3] в режиме онлайн. Эти данные служат основой для создания индивидуализированного плана технического обслуживания, учитывающего уникальные эксплуатационные особенности каждого транспортного средства. Гибкость системы позволяет адаптировать планирование поддержки в зависимости от множества факторов, включая изменения в эксплуатационном режиме, погодные условия, интенсивность использования и динамику движения, что обеспечивает возможность динамического корректирования плана обслуживания. Сервисные центры, в свою очередь, используют эту информацию для оперативного оповещения клиентов о предстоящих датах и времени ТО [9, 10], оптимизируя как состояние автопарка, так и его эксплуатационную эффективность [2].

Материалы и методы. В настоящее время системы для контроля над автопарком или управления автопарком (Fleet Management) активно развиваются и находят свое применение на предприятиях автотранспортной сферы, которые обладают значительным количеством транспортных средств. Сегодня в области грузовых перевозок уровень внедрения телематических систем стремится к 100 %, характеризуясь как более упрощенные информационные системы по сравнению с системами управления автопарком, обеспечивая доступ к информации в режиме удаленного доступа, включая:

- уровень топлива в баке;
- GPS (GLONASS).

В таблице 1 представлен обзор наиболее популярных телематических систем, используемых в коммерческих транспортных средствах.

Таблица 1 – Анализ систем телематики коммерческого автотранспорта
Table 1 – Analysis of telematics systems for commercial vehicles

Качества и функции системы / Qualities and functions of the system	Наименование системы / System Name		
	Система / System «Transics» (WABCO)	Бортовая диагностика «Скания Флекс» / Scania Flex on-board diagnostics	Система спутникового мониторинга «Монтранс» / Montrans satellite monitoring system
Модульность / Modularity	+	+	+
Геолокация / Geolocation	+	+	+
Контроль технического состояния автомобиля-тягача / Monitoring the technical condition of the tractor	-	+	-
Контроль технического состояния прицепа / Monitoring the technical condition of the trailer	+	-	-
Контроль весового состояния / Weight monitoring	+	+	+
Контроль режима работы водителя / Monitoring the driver's working mode	+	+	+
Использование сервера хранения данных / Using a Storage Server	+	+	+
Документальное сопровождение / Documentary support	+	+	+

Система телематики представлена на рисунке 1.

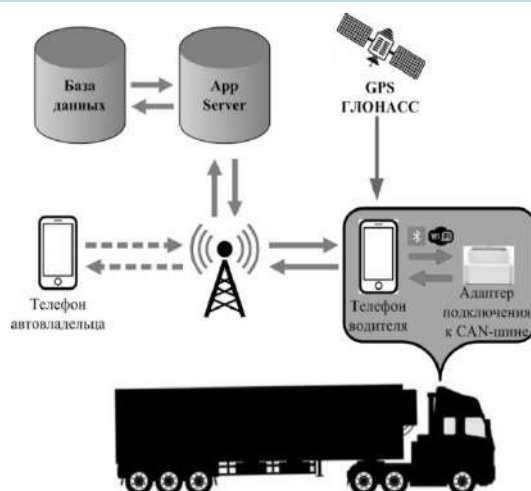


Рисунок 1 – Система телематики на коммерческом транспорте
Figure 1 – Telematics system for commercial vehicles

Каждая диагностическая система [6, 7] строится на изучении конкретного объекта, путем сбора, анализа и трансформации данных, поступающих с него. В контексте современного автотранспорта, анализ тормозной системы [12] представляет собой критически важный процесс. Этот процесс направлен на оценку состояния тормозов проверяемого транспортного средства и предоставление на основе этого анализа руководств по его техническому обслуживанию и рекомендаций.

На рисунке 3 представлена система выявления дефектов автомобиля, включающая в себя две подсистемы:

- методика обработки данных;
- анализ и толкование выведенной системы.



Рисунок 2 – Система диагностики неисправностей
Figure 2 – Fault diagnostic system

Для решения задачи, примем условные обозначения:

- ΘP_i – деформация элемента механической подвески при нагрузке;
- p_{P1} – значение давления воздуха в системе пневматической подвески переднего моста автомобиля;

- $p_{П2}$ – обозначает уровень давления в системе пневматической подвески заднего моста;
- ST_i – актуальная величина дистанции останова;
- SP_i – актуальный уровень силы, приложенной к педали тормоза;
- G_1 – вес передней оси;
- G_2 – вес задней оси;
- GA – вес автомобиля;
- V_{Ki} – скорость начала торможения колеса;
- si – проскальзывание колеса;
- ϵ_{TCi} – комплексный параметр тормозной системы;
- j_{Ti} – значение устойчивого замедления в процессе торможения;
- j_{Θ} – стандартный показатель устойчивого замедления в процессе торможения.

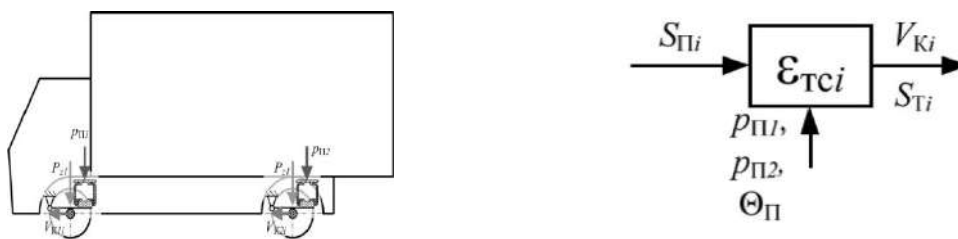


Рисунок 3 – Расчетная схема процесса торможения автомобиля
Figure 3 – Calculation diagram of the car braking process

Результаты и обсуждение. Оценка характеристик системы торможения автомобиля определяется как ϵ_{TCi} . При процессе торможения, значение ϵ_{TCi} анализируется с учетом заданных пределов допуска:

$$\begin{aligned}\epsilon_{TCi} &\geq [\epsilon_{TC}] - \Delta([\epsilon_{TC}]); \\ \epsilon_{TCi} &\leq [\epsilon_{TC}] + \Delta([\epsilon_{TC}]).\end{aligned}$$

При включении тормозов [12] происходит настройка их рабочих параметров. Изменения в функционировании тормозов $\Delta([\epsilon_{TC}])$ и отклонения в их работе $\Delta([\epsilon_{TC}])$ изучаются через коэффициент проскальзывания колес (si), который используется для оценки методов управления автомобилем.

Во время движения аккумулялирование данных о $[\epsilon_{TC}]$ и изменении $\Delta([\epsilon_{TC}])$ относительно si направлено на поддержку машинного обучения и наращивание эффективности экспертных систем.

Корректирующий коэффициент – это величина, которая отображает уровень загрузки транспортного средства в связи с характеристиками его подвески. В этом контексте, переменные, характеризующие давление в передней части системы пневмоподвески, помечены как $p_{П1}$, в тыловой части – как $p_{П2}$. Давление, способствующее изгибу подвески, обозначено как $\Theta_{П}$. Также учитывается коэффициент сцепления колес с дорогой, si , который меняется в зависимости от состояния и типа дорожного покрытия.

Параметр управления является текущей величиной давления на тормозную педаль, обозначаемой SP_i .

Выходные данные состоят из скорости V_{Ki} для каждого колеса i , а также измеренного тормозного пути ST_i .

Диагностические параметры представляют собой меру общей производительности системы торможения транспортного средства TC_i . В качестве управляющего параметра выступает мгновенная величина усилия, приложенного к педали тормоза SP_i .

Выходные параметры – скорость i -го колеса V_{Ki} и текущее значение тормозного пути ST_i .

Диагностические параметры – значение комплексного параметра тормозной системы ϵ_{TCi} .

На рисунке 4 представлен алгоритм реализации экспертной системы [1].

На рисунке 5 представлена интеллектуальная система диагностирования тормозной системы транспортного средства [1].

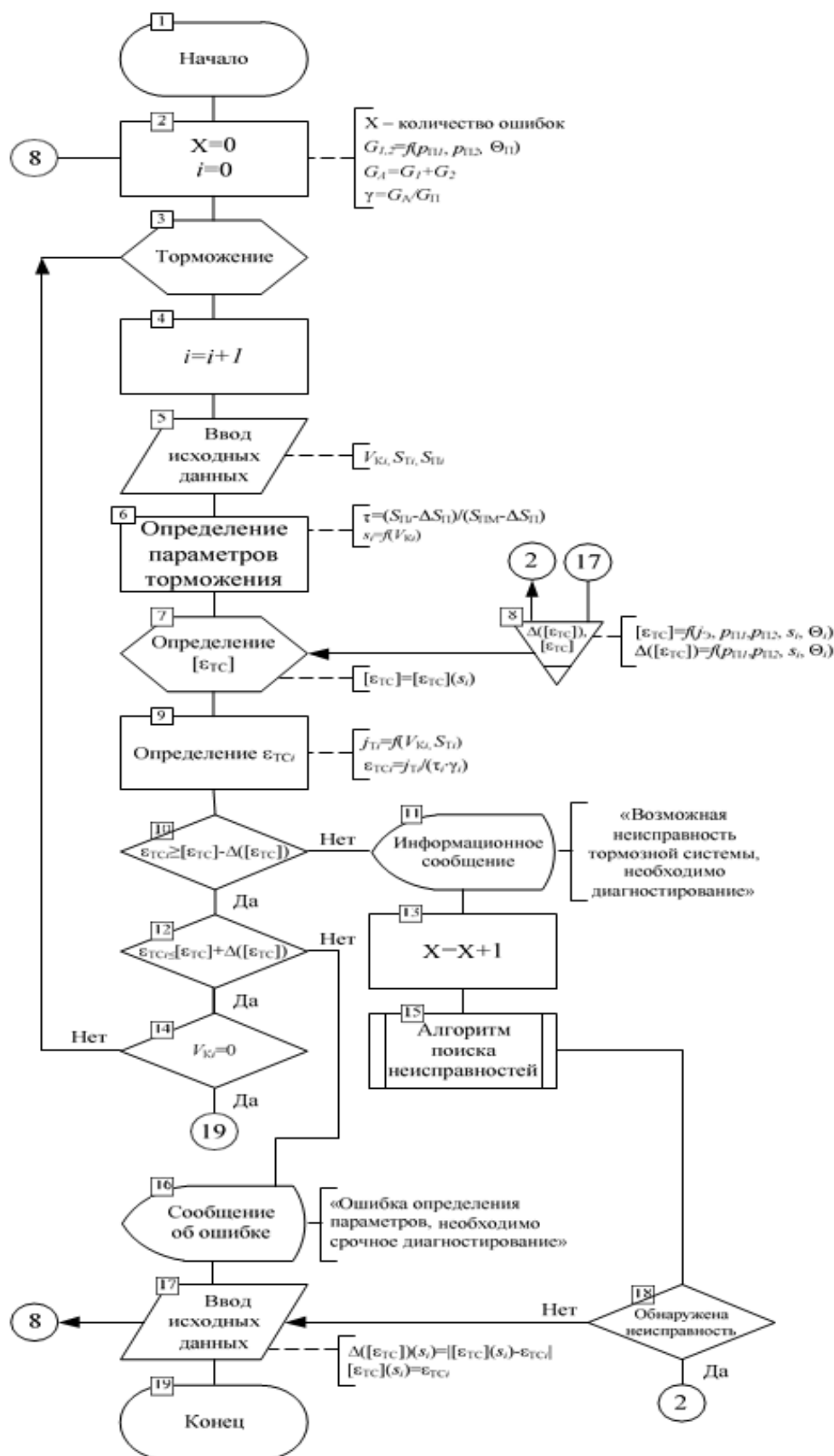


Рисунок 4 – Алгоритм реализации экспертной системы
Figure 4 – Algorithm for implementing an expert system

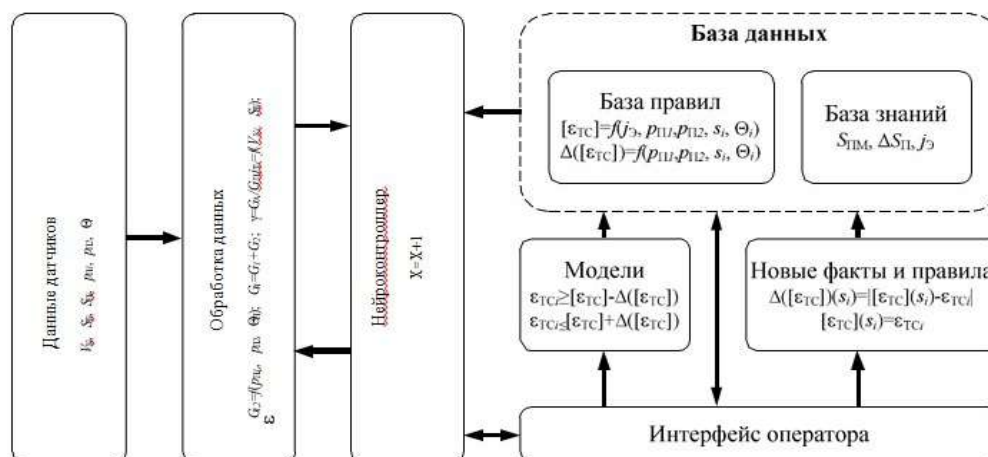


Рисунок 5 – Интеллектуальная система диагностирования тормозной системы транспортного средства
Figure 5 – Intelligent system for diagnosing the vehicle brake system

Заключение. Внедрение этой системы, функционирующей на принципах телематики, обеспечит мониторинг состояния тормозных систем автомобиля [7,8], анализируя и предоставляя соответствующие данные для оптимизации процессов технического обслуживания. Таким образом, минимизируется влияние человеческого фактора на точность прогнозов о техническом состоянии автотранспорта.

Conclusions. The implementation of this system, operating on the principles of telematics, will monitor the condition of the vehicle's braking systems, analyzing and providing relevant data to optimize maintenance processes. Thus, the influence of the human factor on the accuracy of forecasts about the technical condition of vehicles is minimized.

Библиографический список

1. Гулый В. В. и др. Разработка математической модели прогнозирования потребности в запасных частях при управлении дилерской сети СТО. Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 2 (77). С. 125-134.
2. Успенский И. А. и др. Определение удельного электрического сопротивления сдвига фрикционной накладки тормозной колодки относительно металлической пластины (корпуса). Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 395-405.
3. Uspensky I. A., et al. Increase of the resource of brake pads by using the driver's information device about wearing friction linings. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V. 14. No 12. Pp. 2320-2323.
4. Шемякин А. В. и др. Гальванические покрытия Fe-Ni-p для восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники и технологического оборудования. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 302-309.
5. Бышов Н. В. и др. Влияние величины зазора на скорость щелевой коррозии автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 328-337.
6. Simdiankin A., Byshov N., Uspensky I. A method of vehicle positioning using a non-satellite navigation system. Transportation Research Procedia. Saint Petersburg, 2018. V. 36. Pp. 732-740.
7. Byshov N., et al. Accounting for the time of ultrasonic fuel processing in the surface tension coefficient. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V. 14. No 21. Pp. 3753-3756.
8. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. Transportation Research Procedia. Saint Petersburg, 2020. No 14. Pp. 662-673.
9. Simdiankin A., et al. A method to assess congestion in various traffic directions. Transportation Research Procedia. Saint Petersburg, 2018. V. 36. Pp. 725-731.
10. Дидманидзе О. Н. и др. Унификация технологических процессов ремонта автомобильной техники. Транспортное дело России. 2024. № 2. С. 203-206.
11. Solntsev A. A., Asoyan A. P., Курипка А. В. Programming for the purpose of increasing power characteristics. Science Journal of Transportation. 2023. No 2 (14). Pp. 19-23.
12. Солнцев А. А., Асоян А. Р., Курипка А. В. Анализ результатов проведения испытаний фрикционных тормозных накладок автомобиля категории N1. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2023. № 1 (72). С. 83-87.

References

1. Gulyi V. V. et al. Development of a mathematical model for forecasting the need for spare parts in the management of the dealer network of service stations. The world of transport and technological machines. 2022. № 2 (77). Pp. 125-134.
2. Uspensky I. A. et al. Determination of the Shear Resistivity of the Brake Pad Friction Lining Relative to the Metal Plate (Housing). Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. № 3 (59). Pp. 395-405.

3. Uspensky I. A., et al. Increase of the resource of brake pads by using the driver's information device about wearing friction linings. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. V. 14. No 12. Pp. 2320-2323.
4. Shemyakin A. V., et al. Fe-Ni-p Galvanic Coatings for Restoration of Worn Parts of Agricultural Machinery and Technological Equipment. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2024. № 3 (75). Pp. 302-309.
5. Byshov N. V. et al. Influence of the clearance value on the rate of slot corrosion of automobile and tractor equipment. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2020. № 2 (58). Pp. 328-337.
6. Simdiankin A., Byshov N., Uspensky I. A method of vehicle positioning using a non-satellite navigation system. *Transportation Research Procedia*. Saint Petersburg, 2018. V. 36. Pp. 732-740.
7. Byshov N., et al. Accounting for the time of ultrasonic fuel processing in the surface tension coefficient. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. V. 14. No 21. Pp. 3753-3756.
8. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. *Transportation Research Procedia*. Saint Petersburg, 2020. No 14. Pp. 662-673.
9. Simdiankin A., et al. A method to assess congestion in various traffic directions. *Transportation Research Procedia*. Saint Petersburg, 2018. V. 36. Pp. 725-731.
10. Didmanidze O. N. et al. Unification of Technological Processes for Repair of Automotive Equipment. *Transport business of Russia*. 2024. № 2. Pp. 203-206.
11. Solntsev A. A., Kruglova Yu. A., Motorin R. R. Programming for the purpose of increasing power characteristics. *Science Journal of Transportation*. 2023. No 2 (14). Pp. 19-23.
12. Solntsev A. A., Asoyan A. R., Kuripka A. V. Analysis of the Results of Testing Friction Brake Linings of a Category N1 Car. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*. 2023. № 1 (72). Pp. 83-87.

Информация об авторах

Колотов Антон Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), anton.kolotov.89@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Ушанев Александр Игоревич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: aushaniev@inbox.ru

Юмаев Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, ассистент, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yumaeb@yandex.ru

Филиушин Олег Владимирович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: olegfil93@mail.ru

Authors' Information

Kolotov Anton Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva St., 1), anton.kolotov.89@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva St., 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail: yuival@rambler.ru

Ushanev Aleksander Igorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva St., 1), e-mail: aushaniev@inbox.ru

Yumaev Dmitry Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Assistant, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st., 1), e-mail: yumaeb@yandex.ru

Filyushin Oleg Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva St., 1), e-mail: olegfil93@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-57

THE DEVELOPMENT OF THE FINE-JET IRRIGATION SYSTEM DESIGN IN COMBINATION WITH FINE-DISPERSED SPRINKLING

Mayer A. V., Penkova R. I.

*Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kvovniigim@yandex.ru

Received 20.03.2025

Submitted 16.04.2025

Summary

The article presents the results of the development of a low-volume irrigation system combining fine-jet irrigation through perforated humidifiers with fine-scale humidification, which saves water and energy resources when growing fruit and berry crops.

Abstract

Introduction. Modern irrigation technology is developing mainly in two ways. The first of them is the creation of machines for producing artificial rain, or rain of medium and low intensity, and the second is the improvement of low-volume local irrigation methods. The technique of soil irrigation should help maintain appropriate moisture without disturbing the structure and fertility of the soil. Thanks to low-volume irrigation in crop cultivation, new opportunities are opening up for irrigation methods and the use of agricultural technologies, through which conditions must be created that, in combination with other methods and agricultural measures, will ensure increased fertility and consistently high yields of cultivated crops. With this approach to stabilization, water and energy resources should be minimal, and labor productivity should be the highest. When supplying irrigation water by local and low-intensity methods, the system should provide not only preset soil moisture thresholds of 60...100 % HB, but also have the ability to regulate the microclimate in the plant environment with the functional ability to supply mineral and chemical solutions along with irrigation water. The article presents the results of field research on the development of a low-volume irrigation system with the possibility of moistening the leaf surface of fruit and berry crops. **Object.** Watering of fruit and berry crops by means of a fine-jet irrigation system, combined with aerosol humidification, based on irrigation pipelines with a diameter of 24 mm with fittings mounted in their hollow part, connected to flexible micro tubes with an external diameter of up to 6 mm, equipped at the ends with drip compensated outlets, with a flow rate of up to 12 liters per hour. Compensated droppers are placed in corrugated perforated humidifiers, which are located in the soil, around the fruit tree, at the root system. Humidification is carried out by means of an aerosol unit developed at VNIIGIM. **Materials and methods.** During the installation and assembly of all components of the design of the fine-jet irrigation and fine sprinkling system, only materials of domestic production were used, starting with the water intake device, transporting and distributing pipelines, irrigation and corrugated water outlets and ending with compensated droppers and aerosol nozzles and microtubules. The developed irrigation system will increase the fertility and yield of fruit and berry crops. The research includes materials accumulated by VNIIGIM scientists (Gubera K. V., Khrabrova M. Yu., Gubina V. K., Buber A. A., and others) and VNIIOZ staff (Kruzhilina I. P., Semenenko S. Ya., Gonieva M. A., Rodina K. A.) on the development of irrigation systems based on the principle of economical use irrigation water for growing crops. The experimental part of the research was conducted according to generally accepted methods of field experience. **Results and discussions.** The conducted research was aimed at finding a technology that allows for the economical use of water and energy resources in the cultivation of fruit and berry crops. Based on the research results, a project has been proposed for the placement of modular irrigation plots in the cultivation of an orchard with fruit and berry crops, including the use of trickle irrigation in combination with DMD in vineyards. The scientific novelty is determined in the solution of the development of a fine-jet irrigation system and an installation device for fine sprinkling.

Keywords: irrigation technologies, irrigation systems, irrigation system designs, fine-dispersed sprinkling

Citation. Mayer A. V., Penkova R. I. The development of the fine-jet irrigation system design in combination with fine-dispersed sprinkling. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 511-520 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-57.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.6

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ МЕЛКОСТРУЙЧАТОГО ОРОШЕНИЯ В СОЧЕТАНИИ С МЕЛКОДИСПЕРСНЫМ ДОЖДЕВАНИЕМ

Майер А. В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Пенькова Р. И., кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Современная техника орошения развивается в основном двумя путями. Первый из них – это создание машин для получения искусственного дождя, или дождя средней и малой интенсивности, а второй – усовершенствование малообъемных локальных способов полива. Техника орошения почвы должна способствовать поддержанию соответствующей влажности без нарушения структуры и плодородия почвы. Благодаря малообъемному орошению при возделывании сельскохозяйственных культур, открываются новые возможности для способов орошения и использования агротехнических приемов, посредством которых должны создаваться такие условия, которые в комбинации с другими способами и агротехническими мероприятиями будут обеспечивать повышение плодородия и получение стабильно высоких урожаев возделываемых культур. При таком подходе к стабилизации водные и энергетические ресурсы должны быть минимальными, а производительность труда наиболее высокой. Система при подаче оросительной воды локальными и мало-

интенсивными способами должна обеспечивать не только заданные почвенные пороги влажности 60...100% НВ, но и обладать возможностью регулирования микроклимата в среде растений с функциональной возможностью подачи минеральных и химических растворов вместе с поливной водой. В статье представлены результаты полевых исследований по разработке системы малообъемного орошения с возможностью увлажнения листовой поверхности плодовых и ягодных культур. **Объект исследования** – полив плодовых и ягодных культур посредством системы мелко-струйчатого орошения, в сочетании с аэрозольным увлажнением, на основе поливных трубопроводов диаметром 24 мм с вмонтированными в их полую часть штуцеров, соединенных с гибкими микро-трубками с внешним диаметром до 6 мм, снабженных на концах капельными компенсированными водовыпусками, с расходом до 12 литров в час. Компенсированные капельницы помещают в гофрированные перфорированные увлажнители, которые расположены в почве, вокруг плодового дерева, у корневой системы. Увлажнение плодовых культур осуществляется посредством разработанной в ВФ ВНИИГиМа аэрозольной установкой. **Материалы и методы.** При монтаже и сборке всех комплектующих конструкции системы мелкоструйчатого орошения и мелкодисперсного дождевания были использованы только материалы отечественного производства, начиная с водозаборного устройства, транспортирующего и распределительного трубопроводов, поливных водовыпусков и гофрированных увлажнителей, заканчивая компенсированными капельницами и аэрозольными насадками и микро-трубками. Разработанная системы орошения позволит повысить плодородие и урожайность плодовых и ягодных культур. В исследования вошли материалы, накопленные учеными ВНИИГиМа (Губера К. В., Храброва М. Ю., Губина В. К., Бубер А. А., и др.) и сотрудниками ВНИИОЗа (Кружилина И. П., Семененко С. Я., Гониева М. А., Родина К. А.) по разработке оросительных систем, в основе которых заложен принцип экономного использования поливной воды при выращивании сельскохозяйственных культур. Экспериментальная часть исследований проводилась согласно общепринятым методикам полевого опыта. **Результаты и обсуждения.** Проведенные исследования были направлены на поиск технологии, позволяющей осуществлять бережливое использование водных и энергетических ресурсов при возделывании плодово-ягодных культур. По результатам исследований предложен проект по размещению модульных поливных участков при возделывании плодового сада с фруктовыми и ягодными культурами, включая применение струйчатого орошения в сочетании с МДД на виноградниках. Научная новизна определена в решении разработки системы мелко-струйчатого орошения и устройства установки для осуществления мелкодисперсного дождевания.

Ключевые слова: технологии орошения, системы орошения, конструкции систем орошения, мелкодисперсное дождевание.

Цитирование: Майер А. В., Пенькова Р. И. Разработка конструкции системы мелко-струйчатого орошения в сочетании с мелкодисперсным дождеванием. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 511-520. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-57.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Система мелкоструйчатого орошения в сочетании с мелкодисперсным дождеванием (МДД) относится к сельскому хозяйству,

Предлагаемая система мелкоструйчатого орошения в сочетании с мелкодисперсным дождеванием (МДД) должна обеспечивать работу как в режиме струйчатого орошения, так и в режиме мелкодисперсного дождевания садовых и пропашных культур.

Многолетние наблюдения показывают, что метеорологические условия, особенно в засушливые и острозасушливые годы, оказывают существенное влияние на реализацию потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур. На сегодняшний день большинство оросительных систем, используемых в хозяйствах, позволяют лишь частично восполнить потребность растений во влаге путем поверхностного или внутрипочвенного увлажнения. Однако не только корни, но и надземная часть растений, включая стебли и листья, нуждаются в создании благоприятных условий влажности. Поэтому решение задач оптимизации и совмещения разных способов орошения, а также многоцелевого использование поливной техники, например для внесения вместе с оросительной водой корневых и внекорневых подкормок, а также химических растворов для борьбы с грибковыми заболеваниями и паразитами, является весьма актуальным.

Необходимость широкого внедрения в практику сельскохозяйственного производства малообъемного орошения определило направление наших исследований, результаты которых будут полезны специалистам и фермерам при проектировании, строительстве и эксплуатации таких систем.

Малообъемное струйчатое внутрипочвенное орошение в сочетании с аэрозольным увлажнением представляет собой перспективную ресурсосберегающую технологию, так как позволяет обеспечить поддержание предполивного порога влажности в параметрах от 60 до 100 % НВ. Данная технология позволяет регулировать фитоклимат садовых агроценозов, а также оптимизировать водопотребление многолетних плодовых насаждений за счет точного расчета и подачи суточных поливных и увлажнительных норм.

Режимные процессы водораспределения включают в себя согласованную работу всех гидротехнических сооружений оросительной системы и осуществляются автоматически, а отсутствие трущихся или двигающихся деталей обеспечивает надежность и долговечность системы. К особенностям технологического процесса можно отнести способ подачи поливной воды. Полив осуществляется не капельным способом, а посредством тонкой струи, подаваемой в перфорированные гофрированные внутрипочвенные увлажнители, размещенные под каждым плодовым деревом или ягодным кустарником. Диаметр перфорации составляет 3,0...0,4 мм с шагом размещения 120 мм. Данный способ водо-подачи обеспечивает экономию денежных средств до 25 % за счет сокращения продолжительности полива по сравнению с традиционным капельным орошением, так как позволяет снизить нагрузку на насосную станцию и, как следствие, уменьшить потребление энергоресурсов.

Результаты и обсуждения. В исследованиях представлены результаты ФГБНУ ВФ ВНИИОЗ по разработке, применению и эксплуатации модуля внутрипочвенного мелко-струйчатого локального орошения плодовых многолетних насаждений, показаны конструктивные элементы, технологические схемы размещения модулей в системе комбинированного орошения и разработанной конструкции в целом. Представленные разработки могут быть использованы в качестве информационного материала при строительстве и эксплуатации оросительных систем для возделывания плодовых многолетних насаждений. Задача распространяется на создаваемые гидромелиоративные системы (ГМС) в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения. Водозабор для обеспечения водоснабжения внутрипочвенного мелкоструйчатого орошения может осуществляться как с открытых водоемов, так и со скважин. Вода для орошения должна отвечать следующим требованиям: количество остатков органического происхождения – до 5 г/л; размеры органических частиц до 1 мм; количество осадка минерального происхождения не более – 50...100 мг/л; размеры минеральных частиц до 1 мм; мутность 5,0 г/л. Физические параметры участка должны благоприятствовать устройству и расположению оросительной сети, в том числе и в части обеспечения удобства водозабора поливной воды. При этом участки под строительство систем мелкоструйчатого локального орошения необходимо отводить в местах, где залегание грунтовых вод не менее пяти метров.

Модули системы мелкоструйчатого локального орошения включают следующие элементы: насосную станцию, блок фильтров, напорное распределительное устройство (регулятор давления) с сетью распределительных поливных трубопроводов поливные водо-выпуски с подачей воды во внутрипочвенные увлажнители, под каждое садовое насаждение (рисунок 1).

При рассматриваемом способе орошения параметром контура увлажнения является горизонтальная проекция контура максимального увлажнения. Ширина и глубина контура увлажнения изменяется в пределах физических свойств почв и периода роста плодовых культур по годам (0,8...1,4 м). Продолжительность подачи единичной поливной нормы зависит от мощности слоя увлажнения, скорости впитывания и должна устанавливаться из условий отсутствия потерь поливной воды на глубинную фильтрацию.

Водо-подача из распределительного трубопровода, установленного вдоль посадочного ряда плодовых культур (рисунок 1), должна быть прекращена по истечении времени насыщения расчетного слоя элементарной вертикальной почвенной колонки до полной влагоемкости.

Запасы влаги в расчетном слое легче установить инструментальным путем, определив влажность почвы от веса абсолютно сухой почвы:

$$W = 104 \, U \, B \, H, \quad (1)$$

где W – запасы влаги в расчетном слое почвы, мм; U – объемная масса сухой почвы, т/м²; B – влажность почвы в процентах от массы сухой почвы; H – расчетный слой почвы, м.

Коэффициент локального увлажнения определяется по формуле:

$$K = \frac{a \cdot b \cdot \pi}{4ml}, \quad (2)$$

где а и b – максимальные значения параметров пятна увлажнения, определенные по эпюре увлажнения (м), m и l – схема посадки деревьев, м.

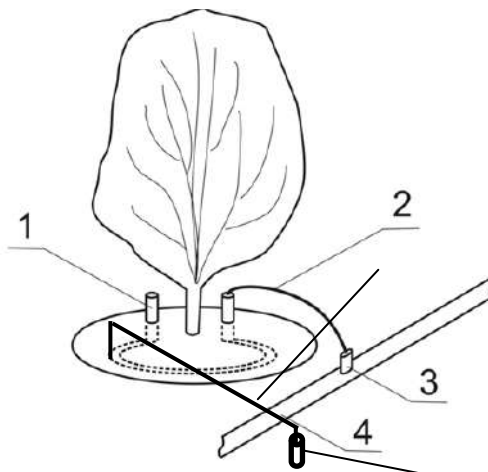


Рисунок 1 – Схема внутрипочвенного струйчатого орошения

Условные обозначения: 1 – внутрипочвенный увлажнитель; 2 – трубчатый водовыпуск;

3 – штуцер; 4 – распределительный трубопровод

Figure 1 – Scheme of intra-soil trickle irrigation

Legend: 1 – intra-soil humidifier; 2 – tubular water outlet; 3 – fitting; 4 – distribution pipeline

Для осуществления мелкодисперсного дождевания (МДД) нами была разработана установка с под-кроновым, внутри-кроновым и над-кроновым увлажнением садовой культуры. При этом на распределительном трубопроводе 15 монтируются дополнительные, штуцерные водо-выпуски 14, которые гидравлически сопряжены с установкой мелкодисперсного дождевания (рисунок 2), которые могут использоваться для подачи воды в перфорированные увлажнители или в разработанную комбинированную поливную установку.

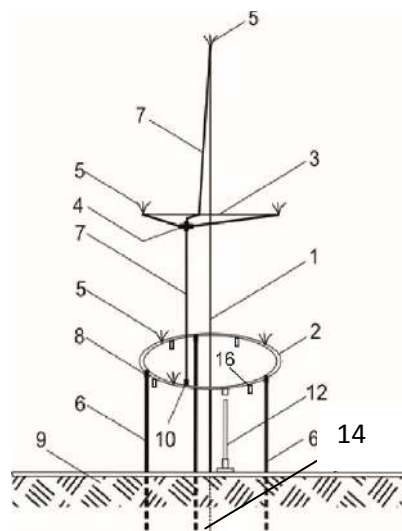


Рисунок 2 – Аэрозольная установка для размещения под плодовые или ягодные культуры

Условные обозначения: 1 – стойка; 2 – поливной трубопровод; 3 – перемычка; 4 – переходник; 5 – распылители с редукционными клапанами; 6 – крепежные стойки; 7 – гибкая микро-трубка; 8 – крепеж; 9,15 – распределительный трубопровод; 10 – конвектор; 12 – переходная трубка;

14 – штуцерный водо-выпуск; 16 – условный поливной водо-выпуск

Figure 2 – Aerosol installation for placing under fruit or berry crops

Legend: 1 – rack; 2 – irrigation pipeline; 3 – jumper; 4 – adapter; 5 – sprayers with pressure reducing valves; 6 – fastening posts; 7 – flexible micro-tube; 8 – fasteners; 9, 15 – distribution pipeline; 10 – convector; 12 – adapter tube; 14 – choke water outlet; 16 – conditional irrigation water outlet

При необходимости установку, размещенную под каждое плодовое дерево или ягодный кустарник, можно использовать для основного полива, осуществляя поверхностный струйчатый полив посредством поливного водо-выпуска 16, но при повышении давления до 0,2 Мпа и выше, срабатывают регулирующие давление клапаны, расположенные на распылительных насадках и установка начинает работать и в режиме МДД.

При внутрипочвенном орошении, в целях обеспечения равномерности подачи воды в внутрипочвенные увлажнители, конец трубчатого водо-выпуска снабжён компрессионной капельницей (рисунок 3).

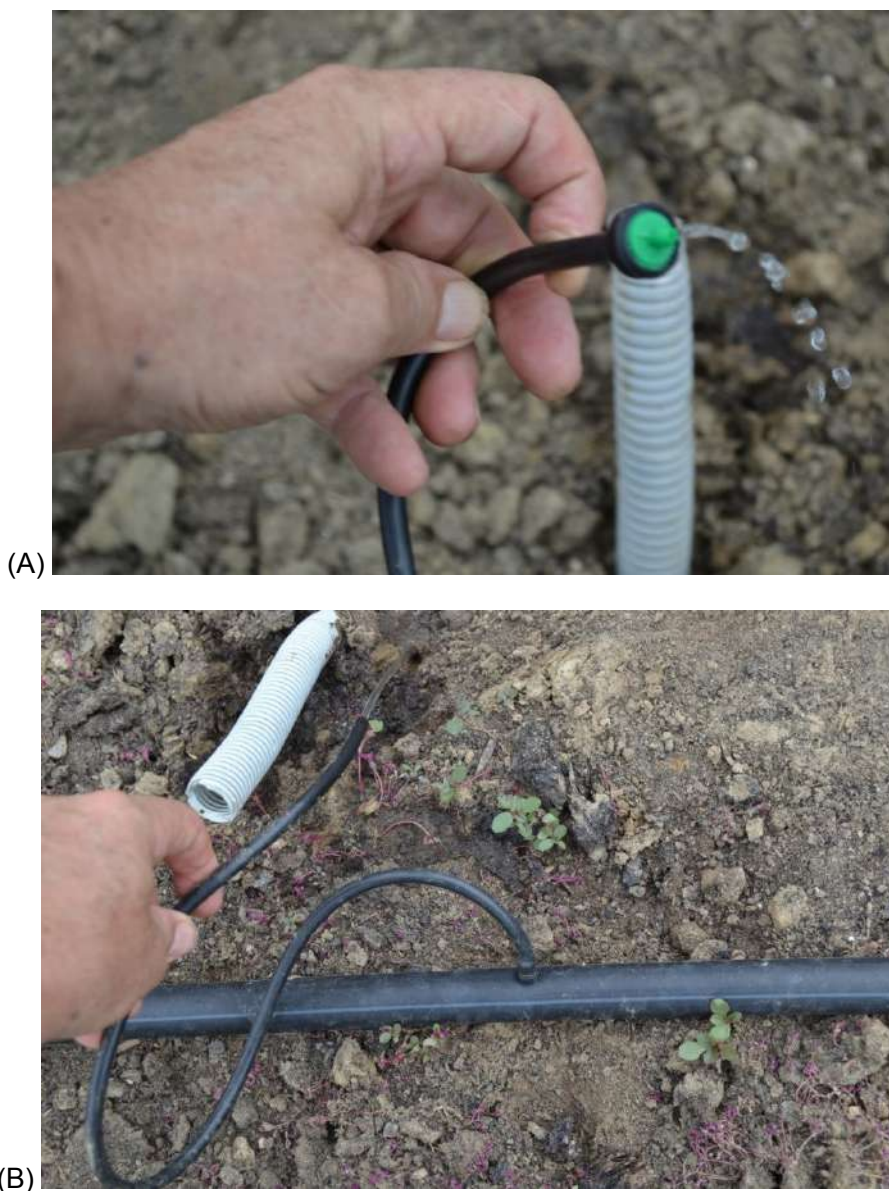
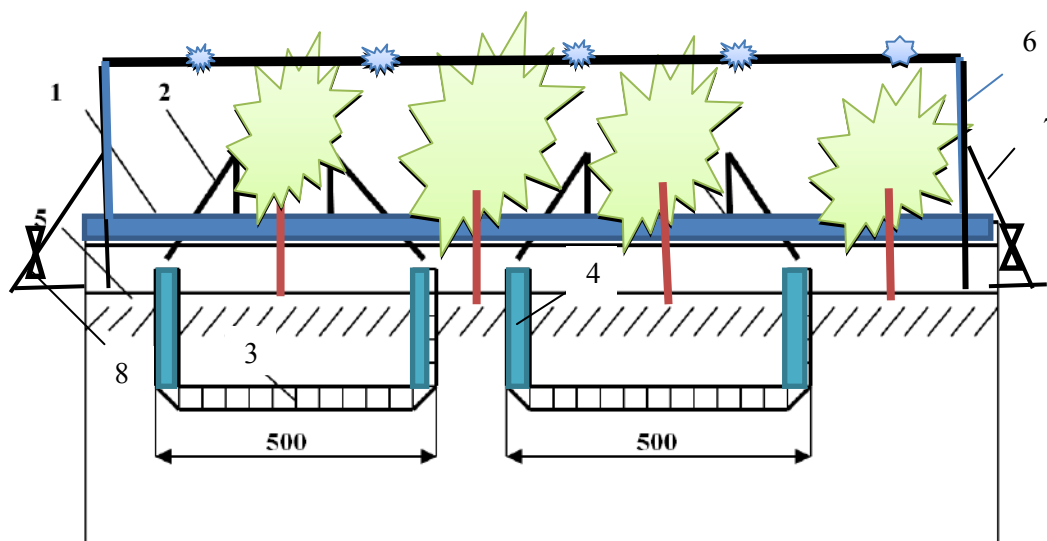


Рисунок 3 – Варианты подачи поливной воды во внутрипочвенный перфорированный увлажнитель:
(А) – через компенсированные капельницы для осуществления МДД;
(В) – посредством гибкой трубки

Figure 3 – Options for supplying irrigation water to an intra-soil perforated humidifier:
(A) – through compensated drippers for MDD; (B) – by means of a flexible tube

Орошение и увлажнение виноградников происходит по идентичному принципу, как и при поливе плодовых деревьев и ягодных кустарников, за исключением места размещения аэрозольных насадок, которые будут крепиться не на самих деревьях или кустарниках, а на верхних шпалерах (рисунок 4).



Условные обозначения: 1 – распредел. трубопровод; 2 – трубчатый водовыпуск; 3 – перфорации; 4 – увлажнитель; 5 – почва; 6 – опорный столб; 7 – растяжной тросик; 8 – натяжитель.

Legend: 1 – distribution pipeline; 2 – tubular water outlet; 3 – perforations; 4 – humidifier; 5 – soil; 6 – support pillar; 7 – stretch cable; 8 – tensioner.

Рисунок 4 – Струйчатый полив в сочетании с МДД виноградника

Figure 4 – Trickle irrigation combined with fine sprinkling of the vineyard

Водозаборное сооружение проектируется согласно СНиП II -32-24 и должно обеспечивать бесперебойный забор воды из источника и подачу ее в оросительную сеть согласно графику водопотребления, с поправкой на погодные условия, весь вегетационный период. От источника водоснабжения зависит выбор фильтрующих элементов для подготовки поливной воды.

Проектирование оросительной сети. При проектировании оросительной сети для систем мелко-струйчатого локального орошения необходимо осуществить:

- подбор магистрального трубопровода в зависимости от производительности насосной станции, расстояния до распределительных или участковых трубопроводов с учетом фильтрующих блоков;
- определение количества поливных трубопроводов на данный участок в зависимости от садовой культуры и схемы посадки саженцев;
- расчет поливных модулей;
- подбор поливных трубопроводов и разводящей арматуры;
- предварительный подбор пропускной способности системы мелко-струйчатого внутривредного орошения, рассчитанного по формуле:

$$R = m \times P \times T, \quad (3)$$

где R – пропускная способность блока фильтров $\text{м}^3/\text{ч}$; m – Поливная норма, м^3 ; T – время работы за один полив; P – площадь участка, м^2 ;

- рассчитать потребность в поливном трубопроводе, определяемой по формуле:

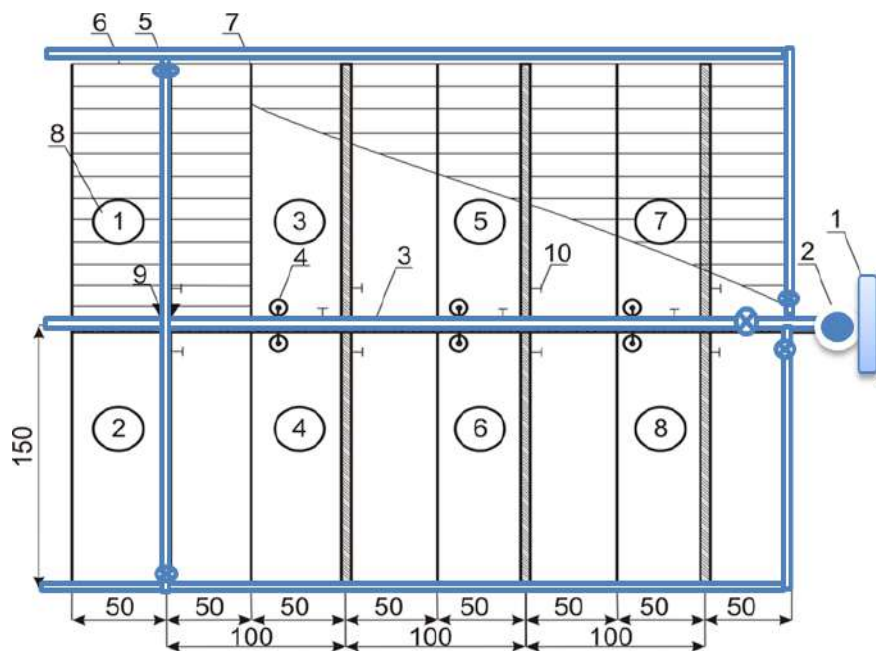
$$L = P \times \text{Мш}, \quad (4)$$

где L – длина трубопровода, P – площадь участка, Мш – ширина укладки между трубопроводами;

- рассчитать площадь поливного модуля.

Последний указанный параметр рассчитывается исходя из диаметра распределительного трубопровода и его пропускной способности, расстояний между водо-выпусками, расхода воды одного водовыпуска и расстояния между ними, расстояний между поливными трубопроводами. Для исключения потери давления воды в поливном модуле при проектировании орошаемого участка прокладываются дополнительные распределительные тру-

бопроводы для замыкания поливного контура орошаемого участка, а магистральный трубопровод снабжается насосами-регуляторами для равновесия, т.е. компенсации давления (рисунок 5). Основываясь на имеющихся исходных данных, проектируется система мелко-струйчатого локального орошения. Орошаемый массив разбивается на модули, рассчитывается время работы насоса, составляется график поливов, количество и сроки внесения удобрений.



1-водоем; 2-насосная станция; 3-магистральный трубопровод;
4-насос регулятор; 5-распределительный трубопровод;
6-поливный трубопровод; 7-граница модуля; 8-номер модуля;
9-участковый регулятор; 10-запорная арматура;

Рисунок 5 – Проектировка поливных модулей оросительной сети

Figure 5 – Design of irrigation modules of the irrigation network

Технологический монтаж поливного модуля включает в себя следующие мероприятия:

- 1 – Сборка поливного модуля.
- 2 – Организация монтажных работ: установка на водозаборе насосной станции блока сетчатых фильтров грубой очистки, магистрального и участковых распределительных трубопроводов, регуляторов давления воды в поливном модуле в соответствии с действующими нормативами.
- 3 – Непосредственно монтаж модуля, производимый в соответствии с привязкой его конструктивных элементов к плану орошаемого участка, с определением направления и укладки трубопроводов.
- 4 – Монтаж головного узла, производимый вблизи от водоисточника. Магистральный трубопровод подводит поливную воду через распределительный трубопровод к поливным трубопроводам, которые монтируются по осевой линии в ряду многолетних насаждений. Через поливные водовыпуски поливных трубопроводов вода попадает в гофрированные поливные трубопроводы с перфорацией для водовыпусков.

Распределительный и поливные трубопроводы могут пролегать на поверхности почвы или внутрипочвенным путем.

- 5 – Поливные гофрированные трубопроводы с перфорацией укладываются под землю в приствольный круг каждого многолетнего насаждения и засыпаются почвой. Укладка трубопроводов осуществляется согласно схеме расположения сада.

Заключение Использование и внедрение системы внутрипочвенного мелко-струйчатого орошения и разработка стационарной установки для комбинированных поливов садовых и ягодных культур позволит фермерским хозяйствам выйти на новый уровень при разработке но-

вых агротехнологий, повысить урожайность плодовых и пропашных культур. Полученные результаты исследований свидетельствуют о положительной динамике работы системы внутрипочвенного мелко-струйчатого локального орошения в сочетании с мелкодисперсным дождеванием. Указанный способ способствует повышению оводненности тканей листового покрова, выращиваемых садовых и пропашных культур, позволяет уменьшить дефицит влаги и снизить депрессию фотосинтеза, что положительно отражается на фитоклимате возделываемых многолетних культур. Наряду с существенной экономией поливной воды, снижением негативных нагрузок на агрофитоценозы, разработанная система орошения позволит поднять продуктивность и качество товара плодовых и ягодных культур на качественно новый уровень. Предложенные разработки направлены на модернизацию комбинированных способов орошения садовых культур, которые все чаще становятся одними из наиболее приоритетных при выборе конструкций локальных стационарных систем малообъемного орошения как наиболее экономные за счет увеличения расходных характеристик и сокращения времени на вегетативный полив, ресурсосберегающие и экологически безопасные, что очень важно, особенно для южных регионов Российской Федерации.

Conclusions. The introduction of an intra-soil fine-jet irrigation system will allow farms to reach a new level in the development of new agricultural technologies, increase the yield of fruit and row crops. The obtained research results indicate the positive dynamics of the system of intra-soil fine-jet local irrigation in combination with fine sprinkling. This method helps to increase the water content of leaf cover tissues, cultivated garden and row crops, reduces moisture deficiency and reduces photosynthetic depression, which has a positive effect on the phytoclimate of cultivated perennial crops. Along with significant savings in fresh water and reduction of negative loads on agrophytocenoses, the developed irrigation system will raise the productivity and quality of fruit and berry crops to a qualitatively new level. The proposed developments are aimed at modernizing combined irrigation methods for garden crops, which are increasingly becoming one of the highest priorities when choosing the design of local stationary low-volume irrigation systems as the most economical, resource-saving and environmentally friendly, which is very important, especially for the southern regions of the Russian Federation.

Библиографический список

1. Бочарников В. С. Новые приемы возделывания овощных культур в системе водосберегающего орошения. Овощеводство и тепличное хозяйство. 2014. № 4. С. 54.
2. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Техничко-технологические основы регулирования гидротермического режима агрофитоценоза в условиях орошения. Научная жизнь. 2019. Т. 14. № 10 (98). С. 1484-1495.
3. Васильев С. М., Коржова Т. В., Шкура В. Н. Технические средства капельного орошения. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. С. 159.
4. Добрачев Ю. П., Соколов А. П. Модели роста и развития растений и задача повышения урожайности. Природообустройство. 2016. № 3. С. 90-96.
5. Дубенок Н. Н., Майер А. В. Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. С. 9-19.
6. Дубенок Н. Н., Майер А. В. Комбинированная гидромелиоративная система для орошения садовых насаждений. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. С. 43-51.
7. Кирейчева Л. В., Карпенко Н. П. Оценка эффективности оросительных мелиораций в зональном ряду почв. Почвоведение. 2015. № 5. С. 587.
8. Новиков А. Е. Орошение и комплексное развитие сельских территорий. Орошаемое земледелие. 2024. № 2 (45). С. 81-21.
9. Соловьев Д. А., Журавлева Л. А. Роботизированный оросительный комплекс "Каскад". Аграрный научный журнал. 2020. № 1. С. 74-78.
10. Шуравили А. В., Бородычев В. В., Лытов М. Н., Сергиенко А. В. Режим капельного орошения плодового сада на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья. Land management, cadaster and land monitoring. 2011. № 1 (73). С. 075-078.
11. Borodychev V. V., Lytov M. N. Irrigation management model based on soil moisture distribution profile. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 577. No 012022.
12. Chen X., Jeong S.-J. Irrigation enhances local warming with greater nocturnal warming effects than daytime cooling effects. Environmental research letters. 2018. V. 13. I. 2. N. 024005.
13. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Fomin S. D., Bocharnikova O. V., Vorontsova E. S., Borodychev V. V., Lytov M. N. Optimum control model of soil water regime under irrigation. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. V. 24. No 5. Pp. 909-913.
14. Semenenko S., Borodychev V., Ivantsova E., Lytov M. Yielding capacity and quality of tomato fruits at drop irrigation with electrochemically activated water in light-chestnut soils of the lower Volga region. 15th International Multi-disciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2015. Sofia, 2015. Pp. 1055-1062.

References

1. Bocharnikov V. S. New methods of cultivation of vegetable crops in the system of water-saving irrigation. Vegetable growing and greenhouse farming. 2014. No 4. P. 54.
2. Borodychev V. V., Lytov M. N. Technical and technological bases of regulation of the hydrothermal regime of agrophytocenosis in irrigation conditions. Scientific life. 2019. V. 14. No 10 (98). Pp. 1484-1495.

3. Vasiliev S. M., Korzhova T. V., Shkura V. N. Technical means of drip irrigation. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2017. P. 159.
4. Dobrachev Yu. P., Sokolov A. P. Models of plant growth and development and the task of increasing productivity. Environmental management. 2016. No 3. Pp. 90-96.
5. Dubenok N. N., Mayer A. V. Development of combined irrigation systems for irrigation of agricultural crops. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: science and higher professional education. 2018. Pp. 9-19.
6. Dubenok N. N., Mayer A. V. Combined hydro-reclamation system for irrigation of garden plantings. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: science and higher professional education. 2018. Pp. 43-51.
7. Kireicheva L. V., Karpenko N. P. Evaluation of the effectiveness of irrigation systems in a zonal range of soils. Soil science. 2015. No 5. 587 p.
8. Novikov A. E. Irrigation and integrated rural development. Irrigated agriculture. 2024. No 2 (45). Pp. 81-21.
9. Solovyov D. A., Zhuravleva L. A. Robotic irrigation complex "Cascade". Agricultural scientific journal. 2020. No 1. Pp. 74-78.
10. Shuravilin A. V., Borodychev V. V., Lytov M. N., Sergienko A. V. The regime of drip irrigation of an orchard on light chestnut soils of the Lower Volga region. Land management, cadaster and land monitoring. 2011. No 1 (73). Pp. 075-078.
11. Borodychev V. V., Lytov M. N. Irrigation management model based on soil moisture distribution profile. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 577. No 012022.
12. Chen X. Jeong S.-J. Irrigation enhances local warming with greater nocturnal warming effects than daytime cooling effects. Environmental research letters. 2018. V.13. I. 2. N. 024005.
13. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Fomin S. D., Bocharnikova O. V., Vorontsova E. S., Borodychev V. V., Lytov M. N. Optimum control model of soil water regime under irrigation. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. V. 24. No 5. Pp. 909-913.
14. Semenenko S., Borodychev V., Ivantsova E., Lytov M. Yielding capacity and quality of tomato fruits at drop irrigation with electrochemically activated water in light-chestnut soils of the lower volga region. В сборнике: 15th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2015. Sofia, 2015. Pp. 1055-1062.

Информация об авторах

Майер Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: <https://orcid.org/1000-0002-0065-8916>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Пенькова Раиса Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9348-4408>, e-mail: raja14-1@mail.ru

Authors' Information

Mayer Aleksander Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva str., 9), ORCID: <https://orcid.org/1000-0002-0065-8916>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Penkova Raisa Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva str., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9348-4408>, e-mail: raja14-1@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-58

THE ASSESSMENT OF LOSSES DUE TO THE EXTERNAL DEFECTS AT THE AGRICULTURAL TECHNICAL SERVICE ENTERPRISES

Temasova G. N., Leonov O. A.

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: temasova@rgau-msha.ru

Received 03.02.2025

Submitted 16.04.2025

Summary

The article deals with issues related to the assessment of external defects in enterprises for the maintenance and repair of agricultural machinery, namely, a methodology for assessing losses from external defects is proposed. For the purposes of assessing losses from an external defective products, these losses are divided into tangible, easily calculable, and intangible, the assessment of which seems to be a more difficult task. Material losses are usually determined by the cost of returning or replacing substandard products, as well as additional costs associated with the repair and commissioning of equipment. At the same time, intangible losses such as lost profits, loss of reputation and loss of customer trust can have a deeper and lasting impact on the business. In order to minimize losses, it is necessary to implement modern quality control methods at all stages of the production process.

Abstract

Introduction. At the enterprises of the technical service of the agro-industrial complex, problems arise related to low-quality products. An essential aspect is the analysis of losses due to defects that the consumer discovers. These losses can be both tangible, which are easy to calculate, and intangible, which are much more difficult to assess. Material losses are usually easily calculated based on the cost of returning or replacing substandard products, as well as additional costs for repairing and adjusting equipment. However,

non-material losses, such as lost profits, reduced reputation and loss of customer trust can be more significant and have a lasting impact on the business. To minimize losses, it is important to implement modern quality control methods at all stages of the production process. Regular audits and monitoring make it possible to identify potential problems at an early stage, reducing the likelihood of defective products. It is also necessary to establish feedback with customers in order to promptly respond to their comments and complaints, which will improve not only the quality of products, but also the level of service. **Object.** The object of research is the processes of enterprises for the maintenance and repair of agricultural machinery. **Materials and methods.** The study was conducted at enterprises for the maintenance and repair of agricultural machinery using the example of repairing the crankshaft of a ZMZ engine. The mathematical description of the methodology for estimating external losses is made in the form of formulas. **Results and conclusions.** The study of losses arising from external defects in agricultural maintenance enterprises is a key task that contributes to improving production efficiency and improving customer service.

Keywords: technical service, external defects, technical service enterprises, technical service quality control.

Citation. Temasova G. N., Leonov O. A. The assessment of losses due to the external defects at the agricultural technical service enterprises. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 520-529 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-58.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 658.562.64

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ОТ ВНЕШНЕГО БРАКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА АПК

Темасова Г. Н., доктор технических наук, доцент
Леонов О. А., доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. На предприятиях технического сервиса агропромышленного комплекса возникают проблемы, связанные с некачественной продукцией. Важным элементом является исследование убытков, вызванных дефектами, которые выявляет потребитель. Убытки могут быть как материальными, поддающимися простому расчету, так и нематериальными, которые гораздо труднее оценить. Материальные потери, как правило, легко рассчитываются на основе затрат на возврат или замены некачественной продукции, а также дополнительных расходов на ремонт и регулировку оборудования. Однако нематериальные потери, такие как упущенная прибыль, снижение репутации и утрата доверия клиентов, могут оказаться более значительными и оказывают длительное воздействие на бизнес. Для минимизации потерь важно внедрять современные методы контроля качества на всех этапах производственного процесса. Регулярные аудиты и мониторинг позволяют выявлять потенциальные проблемы на ранних стадиях, уменьшая вероятность возникновения брака. Также необходимо наладить обратную связь с клиентами, чтобы оперативно реагировать на их замечания и претензии, что улучшит не только качество продукции, но и уровень обслуживания. **Объект.** Объектом исследований являются процессы предприятий по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники. **Материалы и методы.** Исследования проводились на предприятиях по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники на примере ремонта коленчатого вала двигателя ЗМЗ. Математическое описание методики оценки внешних потерь проведено в виде формул. **Результаты и выводы.** Исследование потерь, возникающих из-за внешнего брака на предприятиях технического сервиса АПК, является ключевой задачей, способствующей улучшению производственной эффективности и повышению уровня обслуживания клиентов.

Ключевые слова: технический сервис, внешний брак, предприятия технического сервиса, контроль качества технического сервиса.

Цитирование. Темасова Г. Н., Леонов О. А. Оценка потерь от внешнего брака на предприятиях технического сервиса АПК. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 520-529. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-58.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На предприятиях технического сервиса агропромышленного комплекса часто возникают сложности, связанные с дефектной продукцией. Важным аспектом является анализ внешних потерь, которые несет производитель в результате выявления брака покупателем [1, 2]. Эти убытки могут быть как материальными, которые легко поддаются расчету, так и нематериальными, сумму которых бывает трудно оценить.

Анализ потерь от внешнего брака на предприятиях технического сервиса АПК представляет собой ключевую задачу, направленную на оптимизацию производственных процессов и повышение качества обслуживания [3]. Методика оценки включает несколько этапов, среди которых выявление причин внешнего брака, количественная и качественная оценка потерь, а также разработка мероприятий по их минимизации.

Выявление причин внешнего брака при техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники является важной задачей для обеспечения надежности и долговечности оборудования. Внешний брак может возникать по различным факторам [4], таким как использование некачественных запасных частей, недостаточное внимание к профилактическому обслуживанию или недостаточная квалификация специалистов [5, 6]. Эти аспекты могут существенно снижать эффективность эксплуатации техники и увеличивать затраты на последующий ремонт.

Одной из основных причин возникновения внешнего брака является игнорирование рекомендаций производителей по техническому обслуживанию [7]. Часто сельскохозяйственная техника обслуживается не в соответствии с установленными регламентами, что приводит к преждевременному износу деталей и отказам [8, 9]. Здесь на первом плане стоит важность проведения регулярных осмотров и контроля состояния оборудования, что позволяет выявить потенциальные проблемы на ранних стадиях.

Кроме того, качественная подготовка специалистов играет ключевую роль в предотвращении внешнего брака [10, 11]. Обучение работников современным технологиям и методам ремонта не только повышает уровень их квалификации, но и снижает вероятность ошибок в процессе работы. Важно также внедрение системы контроля качества [12, 13, 14], что позволит оперативно реагировать на выявленные недостатки и оперативно их устранять.

Для уменьшения факторов, способствующих возникновению внешнего брака, необходимо провести комплексное совершенствование всех процессов, связанных с обслуживанием и ремонтом техники, что в итоге повысит надежность.

Оценка потерь, как в количественном, так и качественном отношении, возникающих из-за внешнего брака в процессе технического обслуживания и ремонта, является одним из главных элементов для повышения эффективности работы ремонтных и технических служб.

Внешний брак, связанный с некачественными материалами, дефектами в производстве или ошибками в эксплуатации техники, может привести к значительным экономическим потерям. Количественная оценка таких потерь обычно включает в себя подсчет затрат на дополнительные ремонты, замененные детали и простои оборудования.

Качественная оценка, в свою очередь, предполагает анализ причин, приведших к возникновению внешнего брака. Это может включать в себя исследование поставщиков, процессов изготовления и даже человеческого фактора. Выявление закономерностей и повторяющихся проблем помогает устранить первопричины, что в долгосрочной перспективе снижает количество случаев внешнего брака и, соответственно, связанных с ним потерь.

На агропромышленных предприятиях, специализирующихся на ремонте и техническом обслуживании техники, нередко возникают ситуации, связанные с качественными дефектами продукции. Существенным аспектом является анализ внешних убытков, которые несет производитель, когда потребитель выявляет брак. Эти убытки могут быть как физическими, которые можно четко оценить, так и нематериальными, величину которых бывает трудно оценить непосредственно.

Целью наших исследований является математическое описание процесса оценки внешних потерь предприятий технического сервиса АПК.

Материалы и методы. Объектом исследований являются процессы предприятий технического сервиса АПК. Исследования проводились на предприятиях по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники.

При количественной оценке внешних потерь необходимо определить материальные убытки фирмы, которые включают расходы на замену или восстановление продукции, в которой были выявлены дефекты со стороны заказчика. Эти расходы оказывают непосредственное влияние на финансовое положение компании и могут существенно увеличить производственные затраты. Наряду с материальными потерями, существуют также нематериальные, которые зачастую не так легко поддаются учёту.

Нематериальные потери связаны с негативными последствиями, возникающими в результате того, что потребитель обнаруживает брак. Это может проявляться в ухудшении имиджа компании, потере потребительского доверия или даже в снижении спроса на продукцию. Оценка таких потерь представляет собой сложную задачу, так как они не отражаются в финансовых показателях.

Для адекватного определения внешних потерь компании следует учитывать, как материальные, так и нематериальные аспекты. Это поможет более точно оценить общие убытки и разработать меры по их снижению. Кроме того, компаниям следует постоянно стремиться к улучшению качества своей продукции, чтобы свести к минимуму риск появления брака и сопутствующих ему потерь.

Внешние потери на предприятиях технического сервиса АПК по каждому виду продукции или услуги можно определить по формуле [15]

$$\text{ВШП} = \sum_{i=1}^n (З_p + З_{ви} + П_y + П_{ср} + З_{иди} + И_{юр}), \quad (1)$$

где $З_p$ – затраты, связанные с рекламациями продукции, руб.; $З_{ви}$ – затраты на работы с возвращенной продукцией, руб.; $П_y$ – потери из-за уступок, руб.; $П_{ср}$ – потери прибыли из-за снижения спроса на продукцию, как следствие плохого качества продукции, руб.; $З_{иди}$ – затраты, связанные с изъятием дефектной или подозрительной продукции из эксплуатации, руб.; $И_{юр}$ – юридические издержки из-за низкого качества продукции, руб.

Затраты, связанные с рекламациями, – это затраты на принятие и анализ рекламаций, определяются по формуле [15]

$$З_p = T_p \cdot B_p + НР_p, \quad (2)$$

где T_p – время, затраченное работником на принятие и анализ рекламаций по продукции, ч.; B_p – часовая тарифная ставка работника, принимающего и анализирующего рекламации по продукции, руб./ч.; $НР_p$ – накладные расходы, связанные с рекламациями по продукции, руб.

Наибольший вес во внешних потерях занимают издержки на работы с возвращенной продукцией из-за брака, которые определяются по формуле [15]

$$З_{ви} = (C_3 - C_л) \cdot ВП_3 + З_p \cdot ВП_p + НР_{ви}, \quad (3)$$

где C_3 – стоимость замены бракованной продукции на годную, руб.; $C_л$ – остаточная стоимость бракованной продукции, руб.; $ВП_3$ – количество возвращенной продукции, подлежащей замене, шт.; $З_p$ – затраты на ремонт возвращенной продукции, руб.; $ВП_p$ – количество возвращенной продукции, подлежащей ремонту, шт.; $НР_{ви}$ – накладные расходы, связанные с заменой и ремонтом возвращенной продукции, руб.

Внешние потери из-за уступок – это снижение стоимости продукции по обоюдной договоренности с потребителем из-за обнаруженных незначительных несоответствий, определяются по формуле [15]

$$П_y = (C - C_y) \cdot ПП_y, \quad (4)$$

где C – стоимость продукции, руб.; C_y – стоимость продукции со скидкой, руб.; $ПП_y$ – количество продукции, проданной со скидкой, шт.

Потеря продаж – это потеря прибыли из-за свертывания существующих рынков как следствие плохого качества произведенной продукции, определяются по формуле [15]

$$П_{ср} = (C - C_c) \cdot ОП_{ср}, \quad (5)$$

где C – стоимость продукции на рынке, руб.; C_c – себестоимость продукции, руб.; $ОП_{ср}$ – объем продаж продукции, шт.

Издержки вследствие изъятия – это издержки, связанные с изъятием дефектного или подозрительного изделия из эксплуатации, затраты на планы подготовки изъятия изделия.

Издержки вследствие изъятия определяются по формуле [15]

$$З_{иди} = T_{иди} \cdot B_{иди} + T_{ппи} \cdot B_{ппи} + НР_{иди}, \quad (6)$$

где $T_{иди}$ – время, затраченное работником на изъятие дефектного или подозрительного изделия из эксплуатации, ч.; $B_{иди}$ – часовая тарифная ставка работника, осуществляющего изъятие дефектного или подозрительного изделия из эксплуатации, руб./ч.; $T_{ппи}$ – время, затраченное работником на составление планов подготовки изъятия изделия, ч.; $B_{ппи}$ – часовая тарифная ставка работника, составляющего планы подготовки изъятия изделия, руб./ч.; $НР_{иди}$ – накладные расходы, связанные с изъятием дефектного или подозрительного изделия из эксплуатации, руб.

Юридические издержки вследствие низкого качества продукции ($I_{\text{юр}}$) – это издержки как результат иска, выплаченного за ущерб от судебного процесса в связи с нарушением норм безопасности и качества.

Оптимизация процессов технического обслуживания и ремонта с учетом этих оценок не только способствует экономии средств, но и улучшает надежность техники. В результате, компании могут повысить уровень своей конкурентоспособности, значительно снизив риски, связанные с неэффективным управлением. Таким образом, системный подход к оценке потерь от внешнего брака становится неотъемлемой частью эффективной стратегии управления техническим обслуживанием.

Результаты и обсуждение. Проведем оценку внешних потерь от несоответствия процессов на ООО «МДЦентр» на примере ремонта коленчатых валов двигателей ЗМЗ.

Внешние потери предприятия в материальной сфере можно определить по формулам (1) – (6), как расходы предприятия по замене или ремонту изделий, в которых заказчик обнаружил дефекты, результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки внешних потерь по процессу ремонта коленчатых валов двигателей ЗМЗ
Table 1 – The results of the assessment of external losses during the repair of crankshafts of ZMZ engines

Вид затрат / Cost type	Результаты расчетов затрат, руб. / The results of cost calculations, rub.
Затраты, связанные с рекламациями продукции / Costs related to product complaints	378,75 / 378.75
Затраты на работы с возвращенной продукцией / Cost of working with returned products	601,5 / 601.5
Издержки вследствие уступок / Costs due to concessions	222,75 / 222.75
Потеря продаж / Loss of sales	334,5 / 334.5
Издержки вследствие изъятия / Expenses related to the withdrawal of funds	513 / 513
Юридические издержки вследствие низкого качества продукции / Legal costs due to poor product quality	178,5 / 178.5
Итого, внешние потери / Total, external losses	2229 / 2229

Оценка внешних потерь с помощью разработанной методики выявила, что несоответствия по процессу ремонта коленчатых валов двигателей ЗМЗ в целом имеют существенный вес. Для процесса ремонта коленчатого вала двигателя ЗМЗ они составляют 2229 руб. (порядка 9 процентов). Основную часть внешних потерь составляют затраты на работы с возвращенной продукцией и издержки вследствие изъятия продукции низкого качества из оборота. Это говорит о том, что руководящему составу предприятия следует принять меры по предотвращению несоответствий в производстве, требуется провести мероприятия, которые позволят снизить процент брака в производстве и, соответственно, сократить потери от несоответствия.

Для устранения внешних потерь от брака необходимо выявить причины их возникновения, проанализировать и предупредить их появление. Выявление причин возникновения внешних потерь от брака, их экономическую оценку и анализ можно провести с помощью диаграммы Парето, которая позволяет распределить усилия для разделения возникающих проблем и установить основные факторы, с которых нужно начинать действовать с целью их преодоления [16].

Проведем анализ дефектов, обнаруженных у потребителя при эксплуатации коленчатых валов двигателей ЗМЗ. Основные дефекты, которые могут возникнуть после передачи изделия потребителю, а также вероятность возникновения этих дефектов, способы и стоимость их устранения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные виды дефектов при эксплуатации коленчатого вала двигателя ЗМЗ
Table 2 – The main types of defects in the operation of the crankshaft of the ZMZ engine

Вид дефекта / Type of defect	Вероятность возникновения / The probability of occurrence	Способы устранения / Methods of elimination	Средняя стоимость исправления одного дефекта, руб. / The average cost of eliminating one defect, rub.	Внешние потери, руб. / External losses, rub.
Коррозия контактирующих поверхностей / Corrosion of the contacting surfaces	0,24 / 0.24	Зачистка шлифовальной шкуркой, шлифование и полирование / Sandpaper stripping, grinding and polishing	1603 / 1603	384,72 / 384.72
Изгиб вала / Bending of the shaft	0,2 / 0.2	Холодная или горячая правка коленчатого вала / Cold or hot crankshaft straightening	3364 / 3364	672,80 / 672.80
Биение торцевой поверхности фланца / Runout of the end face of the flange	0,18 / 0.18	Подрезание торца фланца на токарном станке с последующей балансировкой / Trimming the flange end on a lathe followed by balancing	2267 / 2267	408,06 / 408.06
Износ коренных и шатунных шеек / Wear of the main and connecting rod necks	0,11 / 0.11	Шлифование шеек коленчатого вала / Grinding of crankshaft necks	2482 / 2482	273,02 / 273.02
Износ маслосгонных канавок / Wear of the oil grooves	0,1 / 0.1	Углубление резьбы резцом и шлифование шейки до выведения следов износа / Deepen the thread with a milling cutter and sand the neck to remove signs of wear	2565 / 2565	256,50 / 256.50
Прочие виды дефектов / Other types of defects	0,17 / 0.17	В зависимости от вида дефекта / Depending on the type of defect	1376 / 1376	233,92 / 233.92
Всего / Total	1,00 / 1.00	-	-	2229 / 2229

На рисунке 1 приведена диаграмма Парето, построенная по видам брака возникающих в процессе эксплуатации коленчатых валов двигателей ЗМЗ. Наибольший процент брака готовой продукции (62 % от общей массы) дают первые три вида дефекта. Поэтому необходимо особое внимание обратить на причины возникновения коррозии трущихся поверхностей, изгиба вала и биения торцевой поверхности фланца при эксплуатации коленчатых валов двигателей ЗМЗ у потребителя.

Накопленные
проценты /
Accumulated interest

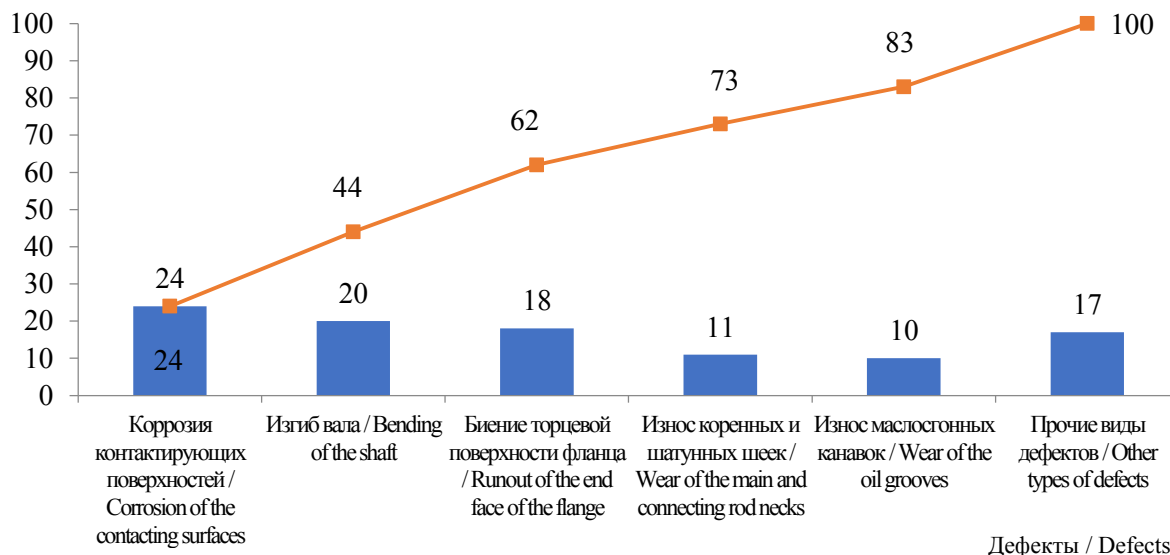


Рисунок 1 – Диаграмма Парето, характеризующая влияние видов дефектов на качество ремонта коленчатого вала двигателя ЗМЗ

Figure 1 – Pareto diagram characterizing the effect of types of defects on the quality of repair of the crankshaft of the ZMZ engine

На многих предприятиях анализ внешних потерь заканчивается рассмотрением видов дефектов и их количества. Такой подход не дает полного представления о внешних потерях производителя, поскольку не содержит информации о потерях в денежном эквиваленте. Необходимо провести анализ внешних потерь с учетом стоимости ремонта или замены изделия низкого качества, так как иногда малый процент количества брака приносит предприятию большие убытки. Для этого нам необходимо построить вторую диаграмму Парето (рисунок 2) по затратам на устранение появившихся дефектов.

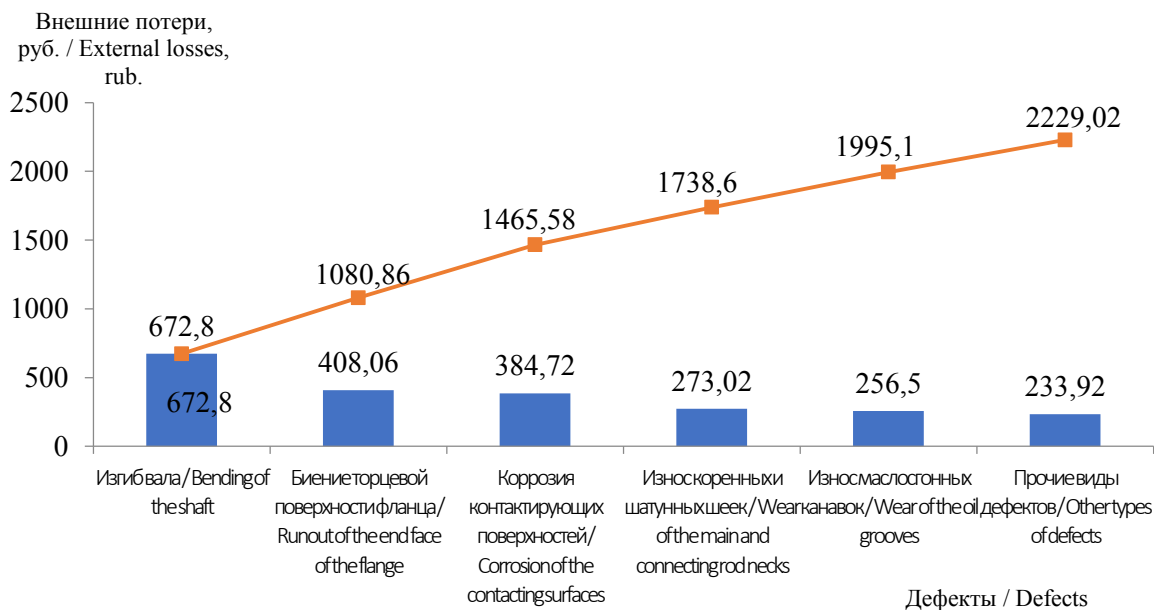


Рисунок 2 – Диаграмма Парето, показывающая стоимостное выражение внешних потерь

Figure 2 – Pareto diagram showing the cost expression of external losses

Из анализа диаграммы Парето (рисунок 2) видно, что дефекты с меньшей вероятностью появления их у потребителя приносят наименьшую сумму потерь, хотя стоимость устранения этих видов дефектов выше, чем остальных. Отсюда следует, что необходимо подвергнуть тщательному анализу все факторы, влияющие на появление первых трех видов дефектов, так как сумма потерь из-за их возникновения наибольшая, и разработать план мероприятий по улучшению технологического процесса.

Диаграмма Парето позволяет нам выявить влияние каждого вида дефектов на величину потерь от внешнего брака и на основании этого принять меры по их устранению.

Заключение. В агропромышленном комплексе на предприятиях технического сервиса возникают сложности, связанные с некачественной продукцией. Ключевым элементом является анализ убытков, вызванных браком, который выявляет потребитель. Анализ потерь, связанных с внешним браком, требует системного подхода. Для уменьшения потерь необходимо внедрять современные методы контроля качества на всех стадиях производственного процесса, проводить регулярные аудит и мониторинг. Одним из важных шагов в минимизации убытков от брака становится внедрение системы управления качеством, которая включает стандартизацию процессов, обучение персонала и использование современных технологий. Применение таких методов, как контроль штучного качества на каждом этапе производства и автоматизация процессов, позволяет значительно снизить вероятность возникновения дефектов. Компании смогут не только сократить материальные потери, но и предотвратить нематериальные убытки, обеспечив стабильность в репутации и повышая доверие клиентов.

Важную роль в процессе анализа брака играют инструменты оценки эффективности, которые помогают выявить наиболее проблемные участки в производственном цикле. Регулярное применение методологии оценки брака позволит глубже понять причины возникновения дефектов и своевременно устранить их. Вместе с тем, устойчивое взаимодействие с поставщиками поможет обеспечить высокое качество исходных материалов и комплектующих, что также несомненно скажется на конечном продукте.

Подводя итог, можно утверждать, что комплексный подход к анализу и управлению браком не только улучшает финансовые показатели, но и создает положительный имидж компании, что является критически важным в условиях конкурентного рынка агропромышленного комплекса. Разработана методика оценки внешних потерь для предприятий технического сервиса АПК. Приведен пример оценки внешних потерь на примере ремонта коленчатого вала двигателя ЗМЗ.

Conclusions. In the agro-industrial complex, technical service enterprises face difficulties associated with low-quality products. The key element is the analysis of losses caused by defective products, which the consumer identifies. The analysis of losses associated with external defective products requires a systematic approach. To reduce losses, it is necessary to implement modern quality control methods at all stages of the production process, conduct regular audits and monitoring. One of the important steps in minimizing losses from defects is the introduction of a quality management system, which includes standardization of processes, staff training and the use of modern technologies. The use of methods such as piece quality control at each stage of production and automation of processes can significantly reduce the likelihood of defects. Companies will be able not only to reduce material losses, but also to prevent non-material losses, ensuring stability in reputation and increasing customer trust.

Efficiency assessment tools play an important role in the process of defective products analysis, which help to identify the most problematic areas in the production cycle. Regular application of the methodology for assessing defects will allow you to better understand the causes of defects and eliminate them in a timely manner. At the same time, sustained interaction with suppliers will help ensure high quality of raw materials and components, which will also undoubtedly affect the final product.

Summing up, it can be argued that an integrated approach to defective products analysis and management not only improves financial performance, but also creates a positive image of the company, which is critically important in a competitive market of the agro-industrial complex. A methodology for assessing external losses for agricultural technical service enterprises has been developed. An example of estimating external losses is given using the example of repairing the crankshaft of a ZMZ engine.

Библиографический список

1. Бондарева Г. И. Оценка внешнего брака на предприятиях машиностроения. Вестник машиностроения. 2021. № 11. С. 93-96.
2. Челенко А. В. Управление качеством изделий машиностроительного производства путем установления функциональных и корреляционных зависимостей точностных показателей. Контроль качества продукции. 2024. № 7. С. 56-60.
3. Непомилуев В. В., Соколова Е. Ю., Белова Н. С. Оценка качества технологического процесса при его проектировании. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2020. № 2. С. 60-63.

4. Мурина Э. В., Остаев Г. Я., Хосиев Б. Н. Учет и управление затратами на исправление брака при производстве промышленной продукции. Вестник Московского университета МВД России. 2023. № 5. С. 271-278.
5. Наумова А. Н. Причины возникновения брака продукции на машиностроительном предприятии и пути его сокращения. Вектор экономики. 2020. № 12 (54). С. 102.
6. Могилевец В. Д. Метод оценки качества изготовления продукции в производственном процессе. Компетентность. 2022. № 6. С. 32-35.
7. Филиппова О. А., Сабиров М. Х., Афанасьева А. А. Анализ влияния потерь от брака на качество продукции. Экономика и предпринимательство. 2023. № 7 (156). С. 1392-1397.
8. Коняева Н. И., Коняев Н. В. Основные причины выхода из строя деталей сельскохозяйственной техники. Современные материалы, техника и технологии. 2022. № 6 (45). С. 131-138.
9. Катаев Ю. В., Малиха Е. Ф. К вопросу организации технического сервиса в агропромышленном комплексе. Наука без границ. 2020. № 1 (41). С. 30-35.
10. Тарасьев Ю. И., Токмаков О. А., Шпер В. Л. Оценка вероятности безотказной работы технических устройств в процессе производства. Методы менеджмента качества. 2023. № 9. С. 52-57.
11. Комаров В. А., Нуязин Е. А., Сивцов В. Н. Анализ отказов зерноуборочных комбайнов в гарантийный период. Сельский механизатор. 2024. № 2. С. 28-29.
12. Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Оценка технического состояния головок блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 и рекомендации по её восстановлению. Пермский аграрный вестник. 2019. № 2 (26). С. 24-33.
13. Леонов О. А. и др. Выбор средств измерений для дефектации коренных опор двигателя ЯМЗ. Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 6. С. 59-63.
14. Комаров В. А. и др. Исследование станочного парка предприятий технического сервиса регионального агропромышленного комплекса. Техника и оборудование для села. 2024. № 2 (320). С. 32-36.
15. Темасова Г. Н. Методика оценки потерь вследствие внешних отказов по процессу ремонта для предприятий ТС в АПК. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2008. № 4 (29). С. 93-95.
16. Ерохин М. Н. и др. Управление затратами на качество продукции и услуг предприятий ремонтного профиля: монография. Ставрополь: Логос, 2020. 133 с.

References

1. Bondareva G. I. Assessment of external marriage at mechanical engineering enterprises. Bulletin of Mechanical Engineering. 2021. № 11. Pp. 93-96.
2. Chelenko A. V. Quality Management of Machine-Building Products by Establishing Functional and Correlation Dependencies of Accuracy Indicators. Product quality control. 2024. № 7. Pp. 56-60.
3. Nepomiluev V. V., Sokolova E. Yu., Belova N. S. Assessment of the quality of the technological process in its design. Assembly in mechanical engineering, instrumentation. 2020. № 2. Pp. 60-63.
4. Murina E. V., Ostaev G. Ya., Khosiev B. N. Accounting and management of costs for the correction of defects in the production of industrial products. Bulletin of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2023. № 5. Pp. 271-278.
5. Naumova A. N. Causes of the emergence of product defects at the machine-building enterprise and ways of its reduction. Vector of the economy. 2020. № 12 (54). P. 102.
6. Mogilevets V. D. Method of assessing the quality of manufacturing products in the production process. Competence. 2022. № 6. Pp. 32-35.
7. Filippova O. A., Sabirov M. Kh., Afanasyeva A. A. Analysis of the influence of losses from defects on the quality of products. Economics and Entrepreneurship. 2023. № 7 (156). Pp. 1392-1397.
8. Konyaeva N. I., Konyaev N. V. [Main reasons for the exit from the construction of agricultural machinery parts. Modern materials, equipment and technologies. 2022. № 6 (45). Pp. 131-138.
9. Kataev Y. V., Malykha E. F. On the issue of organizing technical service in the agro-industrial complex. Science Without Borders. 2020. № 1 (41). Pp. 30-35.
10. Tarasyev Y. I., Tokmakov O. A., Shper V. L. Assessment of the probability of failure-free operation of technical devices in the process of production. Methods of quality management. 2023. № 9. Pp. 52-57.
11. Komarov V. A., Nuyanzin E. A., Sivtsov V. N. Analysis of failures of grain harvesters in the warranty period. Rural machine operator. 2024. № 2. Pp. 28-29.
12. Senin P. V., Rakov N. V., Makeikin A. M. Assessment of the technical state of the cylinder block heads of the ZMZ-406 engine and recommendations for its restoration. Perm Agrarian Bulletin. 2019. № 2 (26). Pp. 24-33.
13. Leonov O. A. et al. Choice of measuring instruments for fault detection of root supports of the YaMZ engine. Agricultural engineering. 2022. V. 24. No 6. Pp. 59-63.
14. Komarov V. A., et al. Study of the machine park of technical service enterprises of the regional agro-industrial complex. Machinery and equipment for the village. 2024. № 2 (320). Pp. 32-36.
15. Temasova G. N. Methods of Estimation of Losses due to External Failures in the Repair Process for TS Enterprises in the Agro-Industrial Complex. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin". 2008. № 4 (29). Pp. 93-95.
16. Erokhin M. N., et al. Management of costs for the quality of products and services of repair profile enterprises: monograph. Stavropol: Logos, 2020. 133 p.

Информация об авторах

Темасова Галина Николаевна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>, e-mail: temasova@rgau-msha.ru

Леонов Олег Альбертович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49), <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, e-mail: oaleonov@rgau-msha.ru

Authors' Information

Temasova Galina Nikolaevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>, e-mail: temasova@rgau-msha.ru

Leonov Oleg Albertovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, e-mail: oaleonov@rgau-msha.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-59

THE EFFICIENCY OF COMBINED ELECTRIC PULSE AND ULTRASONIC TREATMENT OF FORAGE GRAIN: INCREASING DIGESTIBILITY AND REDUCING ANTI-NUTRIENTS**Kostychev K. V.**

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kostya-kostychev@mail.ru

Received 20.01.2025

Submitted 16.04.2025

Summary

The article examines the effectiveness of combined electric pulse and ultrasonic treatment of forage grain for improving digestibility and reducing the levels of anti-nutritional substances and mycotoxins. The results show that this method increases digestibility to 90 %, reduces the content of anti-nutritional substances by 67 %, and decreases microbial contamination to 500 CFU/g. The application of this technology improves the quality of forage grain, boosts animal productivity, and contributes to the environmental safety of livestock farming.

Abstract

Introduction. The acute problem of feed contamination, including forage grain, with mycotoxins, anti-nutritional substances, and pathogenic microflora reduces the productivity of farm animals and poses a threat to human health through livestock products. Controlling and reducing the levels of mycotoxins, particularly aflatoxins, and antinutritional substances such as phytates, antiproteases, and tannins is a priority in modern feed production. **Object.** The object of the study is forage grain, which is susceptible to contamination during storage and use. **Materials and methods.** The study involved the use of a device for combined processing that integrates electroimpulse treatment and ultrasonic vibrations. The device features plate electrodes for delivering electric pulses and ultrasonic emitters for uniform feed processing. The effectiveness was evaluated based on the following indicators: digestibility of forage grain using the artificial rumen fermentation method, content of anti-nutritional substances (phytates, tannins, and anti-proteases) through chemical analysis, microbial contamination by counting colony-forming units (CFU), and aflatoxin levels using high-performance liquid chromatography (HPLC). **Results and conclusion.** The combined electro-pulse and ultrasonic treatment significantly increases the digestibility of forage grain up to 90 % (compared to 65 % with traditional methods), reduced antinutritional substances by 67 % (from 150 mg/kg to 50 mg/kg), decreased microbial contamination to 500 CFU/g (from 5000 CFU/g), and lowered aflatoxin concentration to a safe level of 5 µg/kg (from 20 µg/kg). These findings confirm the high efficiency of the combined method compared to traditional, electroimpulse, or ultrasonic treatments used individually. The combined treatment of forage grain has a synergistic effect, ensuring the breakdown of cell walls, reducing toxin levels, and improving nutrient availability. This method improves animal productivity, reduces infection risks, and enhances the environmental safety of feed production. Implementing this technology in livestock enterprises can reduce feed costs, increase production efficiency, and minimize the use of chemical additives. Further development requires industrial-scale research, economic feasibility analysis, and adaptation of the technology for different types of feed.

Keywords: combined processing of feed grain, electric pulse treatment of grain, ultrasonic treatment of grain, digestibility of feed, anti-nutrients of feed, aflatoxins, mycotoxins, microbial contamination of feed, quality of feed grain.

Citation. Kostychev K. V. The efficiency of combined electric pulse and ultrasonic treatment of forage grain: increasing digestibility and reducing anti-nutrients. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 529-537 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-59.

Author's contribution. The author of this research paper has directly participated in the planning, execution, or analysis of this study.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

УДК 631.363:636.085:621.365.3

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ
И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА: ПОВЫШЕНИЕ
ПЕРЕВАРИМОСТИ И СНИЖЕНИЕ АНТИПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ****Костычев К. В., старший преподаватель***ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Острая проблема загрязнения кормов, в том числе фуражного зерна, микотоксинами, антипитательными веществами и патогенной микрофлорой, что снижает продуктивность сельскохозяйственных животных и представляет угрозу здоровью человека через продукты животноводства. Контроль и снижение уровня микотоксинов, в частности афлатоксинов, а также антипитательных веществ, таких как фитаты, антипротеазы и таннины, являются приоритетной задачей современного кормопроизводства. **Объект.** Объектом исследования является фуражное зерно, которое подвержено загрязнению в процессе хранения и использования. **Материалы и методы.** Применение устройства для комбинированной обработки, сочетающего электроимпульсное воздействие и ультразвуковые колебания. В устройстве предусмотрены пластинчатые электроды для подачи импульсного тока и ультразвуковые излучатели для равномерного воздействия на корм. Оценка эффективности проводилась на основе следующих показателей: переваримость фуражного зерна методом искусственного рубцового ферментирования, содержание антипитательных веществ (фитатов, таннинов, антипротеаз) путем химического анализа, микробное загрязнение методом подсчёта колониеобразующих единиц (КОЕ) и уровень афлатоксинов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). **Результаты и выводы.** Комбинированная электроимпульсная и ультразвуковая обработка позволяет значительно повысить переваримость фуражного зерна до 90 % (по сравнению с 65 % при традиционной обработке), снизить содержание антипитательных веществ на 67 % (с 150 мг/кг до 50 мг/кг), уменьшить микробную обсеменённость до 500 КОЕ/г (с 5000 КОЕ/г) и снизить концентрацию афлатоксинов до безопасного уровня 5 мкг/кг (с 20 мкг/кг). Эти данные подтверждают высокую эффективность комбинированного метода по сравнению с традиционной, электроимпульсной или ультразвуковой обработкой по отдельности. Комбинированная обработка фуражного зерна обладает синергетическим эффектом, обеспечивая разрушение клеточных стенок, снижение уровня токсинов и улучшение доступности питательных веществ. Этот метод способствует повышению продуктивности животных, снижению рисков инфекций и улучшению экологической безопасности кормопроизводства. Внедрение технологии на животноводческих предприятиях позволит сократить затраты на корма, повысить эффективность производства и минимизировать использование химических добавок. Для дальнейшего развития необходимы исследования в промышленных масштабах, анализ экономической целесообразности и адаптация технологии под различные типы кормов.

Ключевые слова: комбинированная обработка фуражного зерна, электроимпульсная обработка зерна, ультразвуковая обработка зерна, переваримость кормов, антипитательные вещества кормов, афлатоксины, микотоксины, микробная обсеменённость кормов, качество фуражного зерна.

Цитирование. Костычев К. В. Эффективность комбинированной электроимпульсной и ультразвуковой обработки фуражного зерна: повышение переваримости и снижение антипитательных веществ. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 529-537. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-59.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Загрязнение кормов, в том числе фуражного зерна, микотоксинами, антипитательными веществами и патогенной микрофлорой является одной из самых острых проблем современного животноводства. Микотоксины, в частности афлатоксины, относятся к наиболее токсичным соединениям, вырабатываемым плесневыми грибами [1, 4, 6]. Они не только снижают продуктивность сельскохозяйственных животных, но и представляют угрозу для здоровья человека через продукты животного происхождения [4, 12]. По данным ФАО, около 25 % мирового зерна поражено микотоксинами, что подтверждает масштаб проблемы [13]. Влияние афлатоксинов на организм включает гепатотоксичность, иммуносупрессию и канцерогенные эффекты, что делает их контроль первоочередной задачей для кормопроизводства [4, 12].

Антипитательные вещества, такие как фитаты, антипротеазы и танины, дополнительно осложняют усвоение питательных элементов, снижая переваримость кормов, в том числе фуражного зерна [2, 5, 9]. Эти соединения препятствуют метаболизму белков, жиров и микроэлементов, что приводит к ухудшению состояния животных и снижению экономической эффективности производства [3, 9]. Патогенная микрофлора, присутствующая в кормах, в том числе в фуражном зерне, также представляет серьёзную угрозу, способствуя развитию инфекций у животных и снижая безопасность продукции [2, 11]. Все эти факторы требуют применения современных технологий обработки кормов, в том числе фуражного зерна, которые позволяют снизить уровень загрязнителей и повысить их питательную ценность [8, 9].

Цель исследования – разработка нового способа предкормовой обработки за счёт использования комбинированного электроимпульсного и ультразвукового воздействия на фуражное зерно. Эта технология направлена на улучшение его качества за счёт повышения переваримости, снижения уровня антипитательных веществ и уничтожения микотоксинов, включая афлатоксины [6, 8, 10]. Полученные результаты помогут разработать эффективные решения для повышения безопасности и экологической устойчивости кормопроизводства [7, 10].

Обзор литературы. Загрязнение кормов, в том числе фуражного зерна, микотоксинами и антипитательными веществами является одной из ключевых проблем, ограничивающих продуктивность и здоровье сельскохозяйственных животных [1, 4, 6]. Среди наиболее распространённых методов борьбы с этими загрязнителями выделяются физические, химические и биологические технологии [3, 9]. Физические методы включают тепловую обработку и сепарацию, направленную на удаление загрязнённых фракций корма. Однако их эффективность в отношении микотоксинов часто ограничена [2, 11]. Химические методы, такие как использование сорбентов и химических нейтрализаторов, более эффективны для снижения уровня микотоксинов, но могут ухудшать качество корма [5, 12]. Биологические методы, включая использование ферментов и пробиотиков, обладают высоким потенциалом, однако требуют дополнительного изучения в промышленных масштабах [6, 8].

Афлатоксины, выделяемые грибами рода «*Aspergillus*», являются одними из наиболее токсичных микотоксинов [4, 5]. Они оказывают гепатотоксическое действие, вызывая жировую инфильтрацию и некроз печени у животных [4, 12]. Долговременное воздействие афлатоксинов приводит к иммунодефициту, делая животных более уязвимыми к инфекциям [4, 6]. Канцерогенный эффект афлатоксинов обусловлен их способностью связываться с ДНК, провоцируя мутации и формирование опухолевых клеток [4, 13]. У молодняка животных и высокопродуктивных особей чувствительность к афлатоксинам особенно высока, что делает контроль их содержания критически важным для животноводства [4, 9].

Среди существующих технологий обработки кормов, в том числе фуражного зерна, выделяются традиционные методы, такие как термическая обработка и ферментация [7, 9]. Тепловая обработка позволяет частично снизить уровень микробной обсеменённости, но неэффективна против термостабильных микотоксинов [11, 12]. Химические методы, такие как использование адсорбентов, эффективны для связывания микотоксинов, но их применение ограничено из-за возможного снижения усвояемости питательных веществ [3, 12]. Биологические методы, включая ферментативную обработку, направлены на разрушение микотоксинов и антипитательных веществ, но требуют значительных затрат и контроля условий обработки [8, 9].

Комбинированная электроимпульсная и ультразвуковая обработка фуражного зерна представляет собой перспективный метод, сочетающий преимущества физических и биологических технологий [10, 13]. Электроимпульсная обработка разрушает клеточные стенки и снижает микробное загрязнение кормов [10], а ультразвуковое воздействие эффективно разрушает антипитательные вещества и способствует инактивации микотоксинов [13]. Исследования показывают, что такая технология значительно повышает переваримость кормов, в том числе фуражного зерна, снижая при этом уровень загрязнителей, таких как афлатоксины, до безопасных значений [6, 12]. Эти преимущества делают комбинированную обработку фуражного зерна оптимальным решением для повышения его качества и безопасности [7, 10].

Материалы и методы. Для исследования применялось устройство комбинированной обработки, которое сочетает электроимпульсное воздействие и ультразвуковую обработку [6, 8, 10]. Устройство оснащено пластинчатыми электродами для подачи импульсного электрического тока и ультразвуковыми излучателями, расположенными вдоль корпуса, что обеспечивает равномерное воздействие на обрабатываемое фуражное зерно [9, 11]. Дополнительно в системе предусмотрена автоматическая регулировка влажности с помощью микроволновых датчиков и электромагнитных клапанов, позволяющая поддерживать оптимальные условия обработки [10]. Такой подход обеспечивает эффективное разрушение клеточных стенок, снижение содержания антипитательных веществ, разрушение микотоксинов (включая афлатоксины) и значительное уменьшение микробного загрязнения [5, 8, 12].

В качестве объекта исследования было выбрано фуражное зерно [7]. Этот вид корма широко используется в сельском хозяйстве, но подвержен значительному загрязнению [2, 3]. Фуражное зерно часто содержит микотоксины, в том числе афлатоксины, особенно при неправильном хранении [4, 12]. Образцы фуражного зерна отбирались из хозяйств с использованием традиционных методов заготовки и хранения кормов [2, 7].

Эффективность обработки оценивалась по следующим показателям:

- переваримость фуражного зерна: определялась с использованием метода искусственного рубцового ферментирования, позволяющего моделировать процессы переваривания в желудочно-кишечном тракте животных [3, 9];

- антипитательные вещества: проводился химический анализ на содержание фитатов, антипротеаз и таннинов, которые являются основными факторами, снижающими усвояемость фуражного зерна [1, 5, 9];

- микробное загрязнение: определялся уровень микробной обсеменённости методом подсчёта колониеобразующих единиц (КОЕ), что позволяет количественно оценить наличие патогенной микрофлоры [2, 11];

- микотоксины (афлатоксины): уровень афлатоксинов измерялся с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), что обеспечивало высокую точность результатов [4, 6, 12].

Все измерения проводились до и после обработки фуражного зерна для оценки изменений в указанных показателях [7, 10].

Эксперимент включал сравнительный анализ четырёх методов обработки фуражного зерна:

1. Традиционная обработка, при которой фуражное зерно подвергалось только механической и термической обработке, без дополнительных воздействий [8, 9].

2. Электроимпульсная обработка, предполагающая воздействие импульсного электрического тока на фуражное зерно [6, 10].

3. Ультразвуковая обработка, направленная на разрушение антипитательных веществ и снижение микробного загрязнения за счёт ультразвуковых колебаний [8, 13].

4. Комбинированная обработка, включающая одновременное воздействие электроимпульсного тока и ультразвуковых волн [10, 12].

Фуражное зерно обрабатывалось по всем четырём методам, после чего проводился анализ изменений в ключевых показателях [7, 11]. Для повышения точности и надёжности данных все эксперименты повторялись трёхкратно, а результаты усреднялись [9]. Полученные данные позволили оценить эффективность каждого метода обработки и определить преимущества комбинированного подхода [7, 10, 13].

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлена переваримость фуражного зерна при различных методах обработки. Анализ показывает, что комбинированная обработка значительно повышает этот показатель по сравнению с другими методами [3, 6, 9]. Традиционная обработка обеспечила переваримость на уровне 65 %, электроимпульсная – 75 %, ультразвуковая – 80 %, а комбинированная обработка достигла максимального значения – 90 % [8, 10]. Эти данные подтверждают, что сочетание двух технологий способствует разрушению клеточных стенок фуражного зерна и улучшению доступности питательных веществ [5, 13].

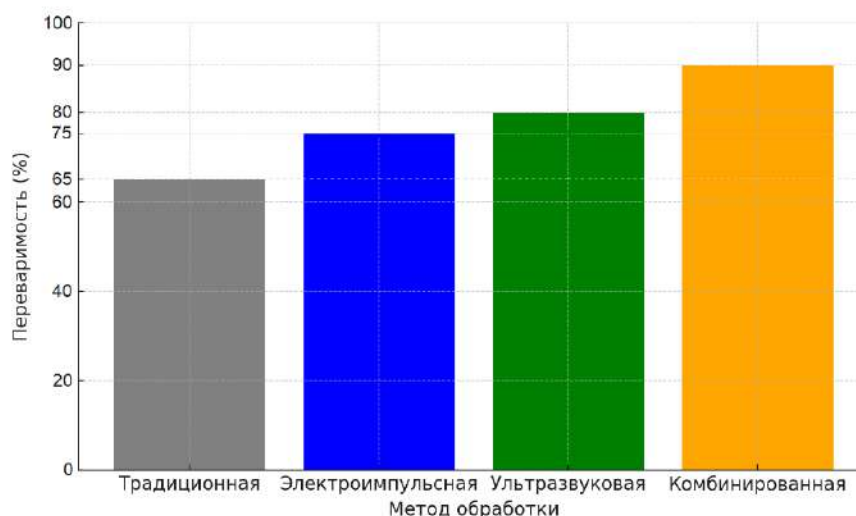


Рисунок 1 – Переваримость фуражного зерна при различных методах обработки
Figure 1 – Digestibility of forage grain under different processing methods

На рисунке 2 представлена концентрация антипитательных веществ в фуражном зерне. Обработка фуражного зерна позволила значительно снизить содержание основных антипитательных веществ, таких как фитаты, танины и антипротеазы [1, 5, 8]. До обработки общее содержание антипитательных веществ составляло 150 мг/кг. После электроимпульсной обработки уровень снизился до 100 мг/кг, ультразвуковая обработка уменьшила концентрацию до 80 мг/кг, а комбинированная обработка обеспечила минимальный уровень – 50 мг/кг [6, 9, 13]. Результаты демонстрируют эффективность технологии в нейтрализации соединений, препятствующих перевариванию и усвоению питательных веществ [3, 8, 12].

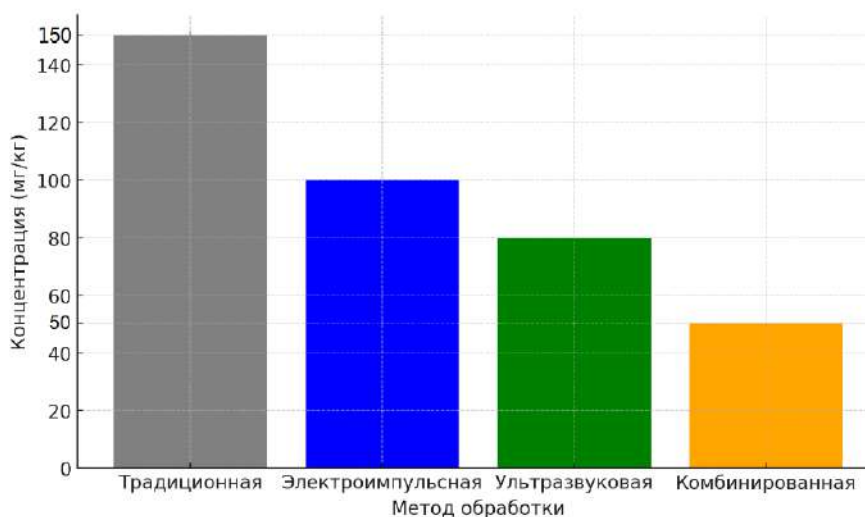


Рисунок 2 – Концентрация антипитательных веществ в фуражном зерне
Figure 2 – Concentration of anti-nutrients in feed grain

На рисунке 3 представлена концентрация афлатоксинов в фуражном зерне. Содержание афлатоксинов в фуражном зерне до обработки было на уровне 20 мкг/кг, что превышает допустимые нормы [4, 6, 12]. После электроимпульсной обработки концентрация снизилась до 15 мкг/кг, ультразвуковая обработка уменьшила уровень до 10 мкг/кг, а комбинированная обработка позволила достичь минимальных значений – 5 мкг/кг [8, 10, 13]. Таким образом, комбинированная обработка показала наибольшую эффективность в разрушении микотоксинов, включая афлатоксины [4, 6, 12].

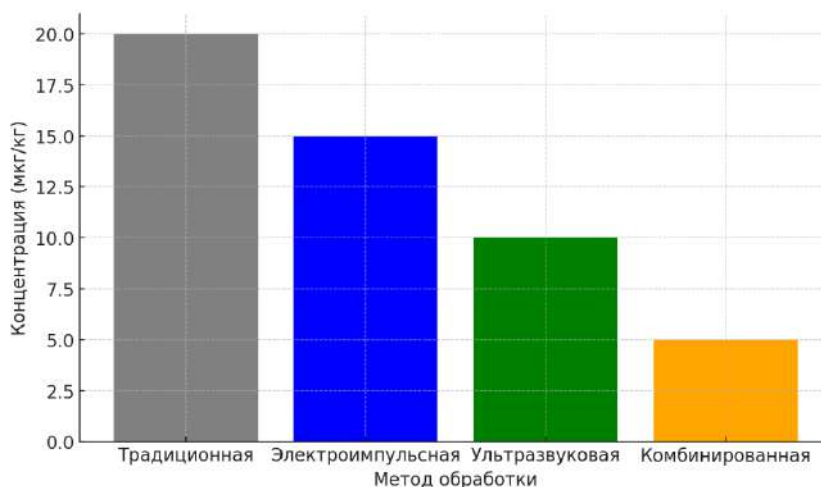


Рисунок 3 – Концентрация афлатоксинов в фуражном зерне
Figure 3 – Concentration of aflatoxins in feed grains

На рисунке 4 представлено микробное загрязнение фуражного зерна. Результаты анализа микробной обсеменённости показали значительное снижение уровня патогенной микрофлоры при применении комбинированной технологии [2, 9, 11]. До обработки обсеменённость составляла 5000 КОЕ/г. Электроимпульсная обработка снизила этот показатель до 3000 КОЕ/г, ультразвуковая – до 2000 КОЕ/г, а комбинированная обработка достигла минимального уровня – 500 КОЕ/г [8, 10, 12]. Эти данные подтверждают высокую биологическую эффективность комбинированного метода в снижении риска инфекционного заражения фуражного зерна [2, 11, 13].

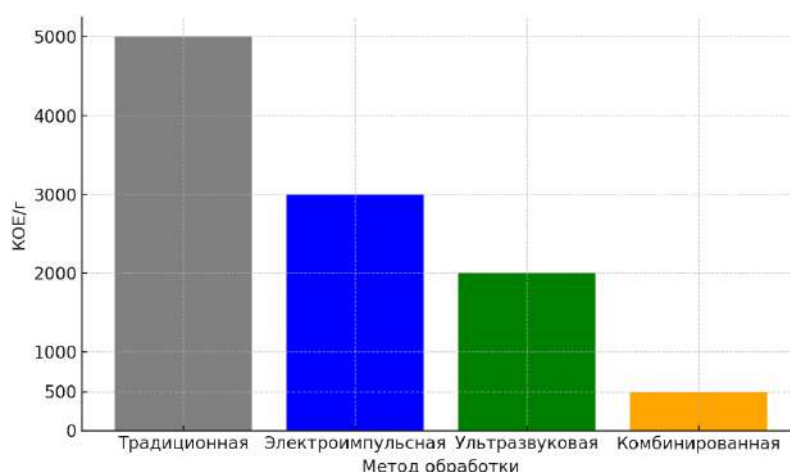


Рисунок 4 – Микробное загрязнение фуражного зерна
Figure 4 – Microbial contamination of feed grains

Полученные результаты демонстрируют, что комбинированная электроимпульсная и ультразвуковая обработка фуражного зерна обеспечивает наилучшие показатели по всем ключевым параметрам: переваримость, содержание антипитательных веществ, уровень афлатоксинов и микробное загрязнение [6, 9, 12]. Это подтверждает перспективность метода для улучшения качества фуражного зерна и повышения его безопасности [7, 10, 13].

Результаты исследования показывают, что комбинированная электроимпульсная и ультразвуковая обработка фуражного зерна является более эффективной, чем традиционные методы [3, 6, 8]. Аналогичные данные о влиянии ультразвука на снижение антипитательных веществ и повышение переваримости ранее были представлены в работах, посвящённых использованию физических методов обработки кормов, в том числе, фуражного

зерна [9, 13]. Однако до настоящего времени предложенное нами комбинированное сочетание ультразвукового воздействия с электроимпульсной технологией не было представлено. Данная технология обеспечивает значительно более высокие показатели, достигая переваримости в 90 %, снижая уровень антипитательных веществ до минимальных значений [7, 10]. Это подтверждает гипотезу о синергетическом эффекте двух технологий, что ранее лишь теоретически обсуждалось в литературе [5, 8].

В отношении микотоксинов, включая афлатоксины, наши результаты также показывают превосходство комбинированной технологии [4, 6, 12]. Снижение уровня афлатоксинов до безопасных значений (5 мкг/кг) согласуется с результатами исследований, подчёркивающих чувствительность микотоксинов к физическому воздействию, включая ультразвуковые колебания [4, 13].

Комбинированная технология играет важную роль в повышении безопасности фуражного зерна за счёт комплексного воздействия на микробную обсеменённость, антипитательные вещества и микотоксины. Она обеспечивает:

- снижение патогенной микрофлоры, что снижает риск инфекций у животных [2, 11, 13];
- уменьшение уровня антипитательных веществ, что повышает усвояемость питательных элементов и продуктивность животных [5, 8, 10];
- эффективное разрушение микотоксинов, включая афлатоксины, что снижает риск токсикоза и повышает безопасность продукции животноводства [4, 6, 12].

Таким образом, технология не только улучшает питательную ценность фуражного зерна, но и снижает риски для здоровья животных и человека [3, 7, 9].

Использование комбинированной электроимпульсной и ультразвуковой обработки фуражного зерна имеет широкий потенциал для внедрения в животноводческих хозяйствах. Основные перспективы включают:

1. экономическая выгода: повышение переваримости фуражного зерна позволяет снизить затраты на кормовую базу за счёт улучшения их усвояемости [7, 9];
2. экологическая безопасность: снижение необходимости использования химических добавок для борьбы с микотоксинами и антипитательными веществами [10, 12];
3. увеличение продуктивности животных: улучшение качества фуражного зерна способствует увеличению надоев, привесов и общей продуктивности животноводства [6, 8];
4. гибкость применения: возможность адаптации технологии под разные типы кормов, включая сено и силос [3, 9].

Несмотря на высокую эффективность технологии, данное исследование имеет некоторые ограничения:

1. ограниченный масштаб экспериментов: исследования проводились в лабораторных условиях, что может отличаться от практического применения на крупных фермах [11];
2. долговременный эффект: требуется изучение долговременного влияния технологии на сохранность обработанного фуражного зерна при хранении [7, 10];
3. экономическая оценка: необходимо провести детальный анализ затрат на внедрение технологии в производственные процессы [5, 9];
4. исследование других микотоксинов: фокус на афлатоксинах должен быть дополнен изучением других токсинов, таких как зеараленон и фумонизины [4, 12].

Будущие исследования должны быть направлены на масштабирование технологии для промышленного применения, оценку её экономической эффективности и расширение анализа влияния на другие типы загрязнителей [8, 13].

Заключение. Проведённое экспериментальное исследование подтвердило высокую эффективность комбинированной электроимпульсной и ультразвуковой обработки фуражного зерна. Основные результаты включают:

- повышение переваримости фуражного зерна до 90 %, что значительно превышает показатели традиционных методов;
- снижение антипитательных веществ на 67 %, обеспечивая лучшее усвоение питательных элементов;
- снижение уровня микробного загрязнения до 500 КОЕ/г, что значительно повышает биологическую безопасность фуражного зерна;
- уменьшение содержания микотоксинов, включая афлатоксины, до безопасных значений (5 мкг/кг), что снижает риск токсикоза у животных.

Эти результаты подчёркивают, что комбинированная технология значительно улучшает качество и безопасность фуражного зерна, делая его более эффективным для использования в животноводстве.

Для эффективного внедрения технологии в животноводческих хозяйствах рекомендуется:

1. масштабирование технологии: адаптация оборудования для работы с большими объемами кормов;
2. обучение персонала: проведение обучающих программ по эксплуатации устройства и контролю параметров обработки;
3. интеграция в кормопроизводство: использование технологии на этапах подготовки и хранения кормов для снижения потерь качества;
4. мониторинг результатов: организация систем контроля за качеством обработанных кормов с акцентом на снижение микотоксинов и микробного загрязнения;
5. расчёт экономической выгоды: проведение анализа затрат и окупаемости для обоснования инвестиций в технологию.

Внедрение данной технологии позволит не только улучшить продуктивность животных, но и снизить риски, связанные с безопасностью фуражного зерна, что делает её перспективным решением для современного животноводства.

Conclusions. The conducted experimental study confirmed the high efficiency of combined electric pulse and ultrasonic feed processing. The main results include:

- an increase in feed digestibility to 90 %, significantly exceeding the performance of traditional methods;
- a 67 % reduction in antinutritional substances, ensuring better nutrient absorption;
- a decrease in microbial contamination levels to 500 CFU/g, significantly enhancing feed biological safety;
- a reduction in mycotoxin levels, including aflatoxins, to safe values (5 µg/kg), minimizing the risk of toxicosis in animals.

These findings underscore that the combined technology significantly improves the quality and safety of feed, making it more effective for use in livestock farming.

For the effective implementation of this technology in livestock enterprises, the following steps are recommended:

1. technology scaling: adapting equipment for large-scale feed processing;
2. staff training: conducting training programs on device operation and processing parameter control;
3. integration into feed production: applying the technology during feed preparation and storage to minimize quality losses;
4. result monitoring: establishing systems to control the quality of processed feed, with a focus on reducing mycotoxins and microbial contamination;
5. economic evaluation: analyzing costs and return on investment to justify the technology's adoption.

The implementation of this technology will not only enhance animal productivity but also reduce risks associated with feed safety, making it a promising solution for modern livestock farming.

Библиографический список

1. Александрова Е. А. Снижение антипитательных веществ в кормах: результаты исследований. Аграрная наука. 2021. № 4. С. 10-15.
2. Бекетов С. В. Влияние микотоксинов на продуктивность сельскохозяйственных животных. Животноводство России. 2022. № 4. С. 12-16.
3. Громова Т. П., Иванов Е. А. Снижение микробной обсеменённости кормов с использованием современных технологий. Корма и кормопроизводство. 2021. № 6. С. 18-22.
4. Зайцев П. С., Куликова О. М. Влияние технологий обработки кормов на переваримость. Сельскохозяйственные науки. 2021. № 8. С. 22-27.
5. Иванова Н. Ю., Петров М. Н. Влияние афлатоксинов на здоровье и продуктивность животных. Агроэкология. 2021. № 3. С. 45-50.
6. Кардашов П. В., Корко В. С., Дубодел И. Б. Электрохимическая обработка кормов. Вестник аграрной науки. 2020. № 4. С. 33-38.
7. Коварский В. А., Филипп Б. С. Электрическая обработка биологических объектов и пищевых продуктов. Современные технологии в агропромышленном комплексе: труды Международной научно-практической конференции. 2021. С. 43-47.
8. Крылов И. В. Технологии борьбы с микотоксинами: обзор современных методов. Микотоксины в сельском хозяйстве. 2019. № 10. С. 12-18.
9. Кузнецов А. П. Технологии повышения безопасности кормов: ультразвук и электрическая обработка. Вестник сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 25-30.
10. Лазарева О. В., Николаев И. А. Сравнение методов обработки кормов: традиционные и современные технологии. Технологии в животноводстве. 2022. № 1. С. 18-23.
11. Михайлов В. И., Фролов Д. С. Электроимпульсная обработка кормов: новый взгляд на качество. Вестник животноводства. 2022. № 2. С. 33-37.

12. Орлова Т. В. Микробное загрязнение кормов: причины и профилактика. Вестник агроэкологии. 2020. № 6. С. 19-24.
13. Савельев М. И. Проблема афлатоксинов: международный опыт и российские решения. Безопасность продукции АПК. 2021. № 2. С. 7-13.
14. Смирнов А. С. Ультразвук в кормопроизводстве: результаты испытаний. Научный вестник животноводства. 2022. № 5. С. 30-35.
15. Тихонов А. Е. Перспективы применения ультразвука в кормопроизводстве. Российский журнал агротехнологий. 2020. № 9. С. 28-34.

References

1. Aleksandrova E. A. Reduction of Antinutritional Substances in Feeds: Research Results. Agrarian Science. 2021. No. 4. Pp. 10-15.
2. Beketov S. V. The Impact of Mycotoxins on the Productivity of Farm Animals. Livestock of Russia. 2022. No. 4. Pp. 12-16.
3. Gromova T. P., Ivanov E. A. Reducing Microbial Contamination in Feeds Using Modern Technologies. Feeds and Feed Production. 2021. No. 6. Pp. 18-22.
4. Zaitsev P. S., Kulikova O. M. The Impact of Feed Processing Technologies on Digestibility. Agricultural Sciences. 2021. No. 8. Pp. 22-27.
5. Ivanova N. Yu., Petrov M. N. The Effect of Aflatoxins on Animal Health and Productivity. Agroecology. 2021. No. 3. Pp. 45-50.
6. Kardashov P. V., Korko V. S., Dubodel I. B. Electrochemical Feed Processing. Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 4. Pp. 33-38.
7. Kovarsky V. A., Filipp B. S. Electrical Processing of Biological Objects and Food Products. Modern Technologies in the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2021. Pp. 43-47.
8. Krylov I. V. Technologies for Combating Mycotoxins: Overview of Modern Methods. Mycotoxins in Agriculture. 2019. No. 10. Pp. 12-18.
9. Kuznetsov A. P. Technologies for Improving Feed Safety: Ultrasound and Electrical Processing. Bulletin of Agricultural Science. 2020. No. 5. Pp. 25-30.
10. Lazareva O. V., Nikolaev I. A. Comparison of Feed Processing Methods: Traditional and Modern Technologies. Livestock Technologies. 2022. No. 1. Pp. 18-23.
11. Mikhailov V. I., Frolov D. S. Electroimpulse Feed Processing: A New Perspective on Quality. Livestock Bulletin. 2022. No. 2. Pp. 33-37.
12. Orlova T. V. Microbial Contamination of Feeds: Causes and Prevention. Bulletin of Agroecology. 2020. No. 6. Pp. 19-24.
13. Savelev, M. I. The Problem of Aflatoxins: International Experience and Russian Solutions. Agricultural Product Safety. 2021. No. 2. Pp. 7-13.
14. Smirnov, A. S. Ultrasound in Feed Production: Test Results. Scientific Bulletin of Livestock Farming. 2022. No. 5. Pp. 30-35.
15. Tikhonov A. E. Prospects for Using Ultrasound in Feed Production. Russian Journal of Agro-technologies. 2020. No. 9. Pp. 28-34.

Информация об авторе

Костычев Константин Владимирович, старший преподаватель, ФБГОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: kostya-kostychev@mail.ru

Author's Information

Kostychev Konstantin Vladimirovich, Senior Lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kostya-kostychev@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-60

THE ASSESSMENT OF THE TILLAGE MACHINERY IMPACT ON CHANGES IN THE AGRICULTURAL LANDSCAPE EROSION RESISTANCE

¹Chuchkalov S. I., ¹Filippov V. P., ¹Alekseev V. V., ^{1,3}Vasilev S. A.,
²Maksimov I. I.

¹Chuvash state University named after I. N. Ulyanov

²Chuvash State Agrarian University

Cheboksary, Chuvash Republic, Russian Federation

³Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics

Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vsa_21@mail.ru

Received 20.03.2025

Submitted 16.04.2025

Abstract

Introduction. The paper describes the developed methodology for assessing the complex effect of the results of the functioning of tillage machinery on the erosion resistance of agricultural landscapes. Criteria are given that logically link together the conditions conducive to the occurrence of an erosive situation and integrally reflect changes in the size and strength of soil aggregates, the intensity and volume of water absorption, depth/width and velocity of water in a system of micro-streams that appear during precipitation or

snowmelt. **Object.** The purpose of the scientific work is to select methods and develop methods for measuring quantities that ensure, with a minimum amount of information, the adequacy of assessing the impact of the functioning of tillage machinery on changes in the erosion resistance of the slope. **Materials and methods.** The verification of the obtained theoretical assumptions was carried out in field experiments on agricultural lands of the Morgaushsky district of the Chuvash Republic and in laboratory conditions. Previously, using a field mechatronic surface contour recorder with the ability to scan the surface around a circle with an accuracy of 1 mm vertically, the depth and uniformity of plowing were determined, the amount of lumpiness and rippling of the arable land surface was determined, the slope of the soil surface, the fluffiness coefficient and the straightness of plowing were calculated. On the basis of the surface contour recorder, a method for determining tallweeds on agricultural landscapes of sloping lands in the field was also implemented. To assess the change in the intensity of water absorption on the slopes before and after the passage of the MT, methods of water balances and small sprinkler systems were used together. To simulate the processes of absorption and determine the start of runoff, depending on the volume and intensity of moisture entering the soil, a computer program was developed that performs calculations taking into account the basic hydraulic and physical characteristics of the soil and the function of moisture conductivity. **Results and conclusions.** It is shown that the main influence during the operation of machine-tractor units is on the structure of the upper fertile layer and the density of the soil, which, in turn, determine the water permeability and, consequently, the intensity of surface runoff.

Keywords: tillage units, erosion resistance of landscapes, soil washout, soil water permeability.

Citation. Chuchkalov S. I., Filippov V. P., Alekseev V. V., Vasiliev S. A., Maksimov I. I. The assessment of the tillage machinery impact on changes in the agricultural landscape erosion resistance. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 537-546 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-60.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.4

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОТЫ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЛАНДШАФТА

¹Чучкалов С. И., старший преподаватель

¹Филиппов В. П., кандидат физико-математических наук

¹Алексеев В. В., доктор технических наук

^{1,3}Васильев С. А., доктор технических наук

²Максимов И. И., доктор технических наук

¹Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова

²Чувашский государственный аграрный университет

Чебоксары, Чувашская Республика, Российская Федерация

³Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация

Аннотация. В работе описана разработанная методика оценки комплексного влияния результатов функционирования почвообрабатывающей техники на эрозионную устойчивость агроландшафтов. Приведены критерии, которые логично связывают воедино условия, способствующие возникновению эрозионно опасной ситуации, и интегрально отображают изменения размеров и прочности почвенных агрегатов, интенсивности и объемов впитывания воды, глубины/ширины и скорости воды в системе микроручейков, появляющихся при осадках или таянии снега. **Объект.** Цель научной работы – подбор методов и разработка методик измерения величин, обеспечивающих при наличии минимального объема информации адекватность оценки влияния функционирования почвообрабатывающей техники на изменение эрозионной устойчивости склона. **Материалы и методы.** Проверка полученных теоретических предпосылок была проведена в полевых экспериментах на землях сельскохозяйственного назначения Моргаушского района Чувашской Республики и в лабораторных условиях. Предварительно при помощи полевого мехатронного профилографа с возможностью сканирования поверхности по окружности с точностью до 1 мм по вертикали определялась глубина и равномерность вспашки, устанавливалась величина глыбистости и гребнистости поверхности пашни, рассчитывались уклон поверхности почвы, коэффициент вспушенности и прямолинейность вспашки. На базе профилографа был также реализован способ определения тальвега на агроландшафтах склоновых земель в полевых условиях. Для оценки изменения интенсивности впитывания воды на склонах до и после прохождения МТА использовались совместно методы водных балансов и малых дождевальных установок. Для моделирования процессов впитывания и определения момента начала стока в зависимости от объема и интенсивности поступающей в почву влаги была разработана программа для ЭВМ, выполняющая расчеты с учетом основной гид-

рофизической характеристики почвы и функции влагопроводности. **Результаты и выводы.** Показано, что основное влияние при функционировании машинно-тракторных агрегатов оказывается на структуру верхнего плодородного слоя и плотность почвы, которые, в свою очередь, детерминируют водопроницаемость и, следовательно, интенсивность поверхностного стока.

Ключевые слова: почвообрабатывающие агрегаты, эрозионная стойкость ландшафтов, смыв почвы, водопроницаемость почвы.

Цитирование. Чучалов С. И., Филиппов В. П., Алексеев В. В., Васильев С. А., Максимов И. И. Оценка влияния работы почвообрабатывающей техники на изменение эрозионной устойчивости агроландшафта. *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 537-546. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-60.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Функционирование машинно-тракторных агрегатов (МТА) оказывает существенное влияние на изменение эрозионной устойчивости склоновых агроландшафтов. При функционировании машинно-тракторных агрегатов на склоне меняется ряд характеристик почвы [1, 2, 3], от которых в совокупности существенно зависит эрозионная стойкость поверхности поля. Влажность почвы на склоне сильно варьирует, следовательно, функционирование МТА на некоторых участках приводит к разрушению структуры и переуплотнению почвы, вызывающему снижение влагопроницаемости и увеличение поверхностного стока. При выполнении основных операций (вспашки, культивации, боронования), нарушающих целостность растительного и почвенного покрова, происходит формирование борозд и колеи, то есть микрорельефа, что приводит к изменению направления и интенсивности поверхностного стока.

Следует отметить, что существующие модели оценки эрозии почвенного покрова, такие как универсальное уравнение потери почвы (USLE), измененное универсальное уравнение потери почвы (RUSLE), программа прогнозирования водной эрозии (WEPP), средство оценки почвы и воды (SWAT) [4, 5, 6,], учитывают широкий набор признаков (атрибутов), характеризующих агроландшафт и климатические условия: уклон, длину склона, критическую интенсивность дождей осадков, коэффициент эрозионной устойчивости почвы и другие параметры. При применении указанных выше моделей исследуемая территория разбивается на характерные ячейки с соответствующими значениями атрибутов. На поверхности агроландшафта составляется пространственная сеть треугольников TIN (Triangulated Irregular Network), которая служит основой для заполнения матрицы высот. При наличии развитой овражно-балочной сети необходимо уточнение деталей поверхности, включая бровки и тальвеги. Методы и алгоритмы программ, разработанных для расчета по указанным выше моделям, в большинстве своем являются исследовательскими версиями, требующими дополнительной оценки их адекватности.

Оптимальность модели во многом определяется объемом входящей исходной информации. Поэтому при разработке современных методов как оценки эрозии склонового агроландшафта, так и влияния воздействия МТА на ее изменение, является актуальной задача подбора и измерения таких величин, которые обеспечивают адекватность оценки эрозионной устойчивости склона при наличии минимального объема доступной информации. Современные устройства, сканирующие поверхность поля, позволяют в сжатые сроки получать информацию о воздействии сельскохозяйственной техники на почву. С помощью профилографа почвы на базе лазерных дальнометров [7, 8] можно оценивать комковатость, распределение почвенных агрегатов по размерам или (при рассмотрении вспашки) определять степень вспушенности почвы, глубину борозды, прямолинейность вспашки и многие другие показатели. Одновременно можно производить расчет уклона местности, уклона по дну борозды и угла движения машинно-тракторного агрегата относительно горизонталей (линий уровня). Для полноты описания склонового агроландшафта необходима также информация о стабильных во времени свойствах почвы (минералогическом составе, гранулометрическом составе как соотношении фракций песка, пыли и глины, глубине залегания почвообразующих пород и подстилающих горизонтов), а также ее вариативных свойствах (содержании органического вещества (гумуса), кислотности (pH), структурно-агрегатном составе, плотности, пористости и влажности).

Существуют различные методы, определяющие эрозионную устойчивость почвы к разрушению и смыву и включающие оценку физических и химических свойств почвы и наблюдение за склонами во время дождя или полива. Одним из распространенных методов является использование специальных наклонных поверхностей и цилиндров для моделирования впитывания осадков и стока воды после искусственного дождевания или полива на участке почвы [9]. Минимизация длительности получения результатов может быть достигнута использованием критериев подобия при реализации метода дождевания стоковых площадок [10].

Стабильные во времени и динамически меняющиеся свойства почвы определяют эрозионную устойчивость почв. Многие отечественные и зарубежные ученые разрабатывают энергетические [11, 12, 13] и силовые подходы [14, 15] для проведения адекватной, физически обоснованной численной оценки характеристик эрозионных процессов, происходящих в почве. Относительно подробный обзор и критический анализ современных методов приведен, в частности, в работе [16], там же на основе теории размерностей и рассмотрения энергетического баланса предложен модифицированный критерий Лохтина, при помощи которого выявляется, происходит ли в рассматриваемой точке водосборной площади эрозионное разрушение и вынос почвы или, наоборот, идет ее нанос в данную точку:

$$\Lambda = Q_x \left(\frac{gi}{\psi} \right)^2 \frac{1}{\sqrt{\psi}}. \quad (1)$$

где Q_x – расход жидкости в микроручейке (величина переменная, как во времени, так и по длине микроручейки), g – ускорение свободного падения, i – уклон, $\psi = \Delta A / \Delta m$ – потенциал эрозионной стойкости, представляющий собой работу ΔA , необходимую для разрушения и выноса единицы массы почвы Δm в конкретных условиях ее залегания.

В рамках комплексного решения задачи снижения негативного воздействия МТА на почву необходима актуализация методов и методик оценки эрозионной устойчивости почвы с повышением адекватности результата оценивания и минимизацией временных затрат на его получение. Решающим фактором в этой связи является использование современных устройств сбора и обработки экспериментальной информации, а также вычислительных мощностей компьютерной техники при моделировании процессов на агроландшафте.

Объект исследования. Цель исследования – подбор методов и разработка методик измерения величин, обеспечивающих при наличии минимального объема информации адекватность оценки влияния функционирования МТА на изменение эрозионной устойчивости склона.

Задача исследования – количественная оценка функционирования почвообрабатывающего агрегата в разрезе его влияния на изменение эрозионной стойкости склонового агроландшафта.

Научная новизна – рассмотрение величины эрозионной стойкости склонового агроландшафта как объекта воздействия МТА.

Материалы и методы. Для оценки влияния МТА необходимо получить и комплексно проанализировать данные об изменениях в геометрических параметрах рельефа в макро- и микромасштабе, а также стабильных и меняющихся во времени характеристиках почвы отвечающих за сопротивление почвы к разрушению и размыву водным потоком.

Для анализа поверхности был разработан и применен полевой мехатронный профилограф (рисунок 1) [17], позволяющий профилировать поверхность почвы соответственно до и после прохода машинно-тракторного агрегата. В ходе профилирования составлялось распределение почвенных агрегатов по размерам, определялась глубина вспашки и ее равномерность, устанавливалась величина глыбистости и гребнистости поверхности пашни, рассчитывались уклон поверхности почвы, коэффициент вспушенности и прямолинейность вспашки.



Рисунок 1 – Полевой профилограф
Figure 1 – Field profiler

Профилограф состоит из основания с закрепленными стержнями и стойкой (рисунок 2), на которой установлен угловой датчик, подвижный корпус, опорное колесо с сателлитом. Корпус установлен на стойке с помощью подшипников качения. Внутри него размещены источник питания, блок управления, приемник GPS, компас, акселерометр и гироскоп, а снаружи установлены два электродвигателя и направляющая. Лазерный датчик на направляющей при сканировании осуществляет радиальное и круговое движение. Блок управления соединен с электродвигателями и с ноутбуком. Разработанное программное средство согласует работу датчиков и электродвигателей, а также автоматизирует вычисления. На основании установлены термогигрометр воздуха и почвенный влагомер.

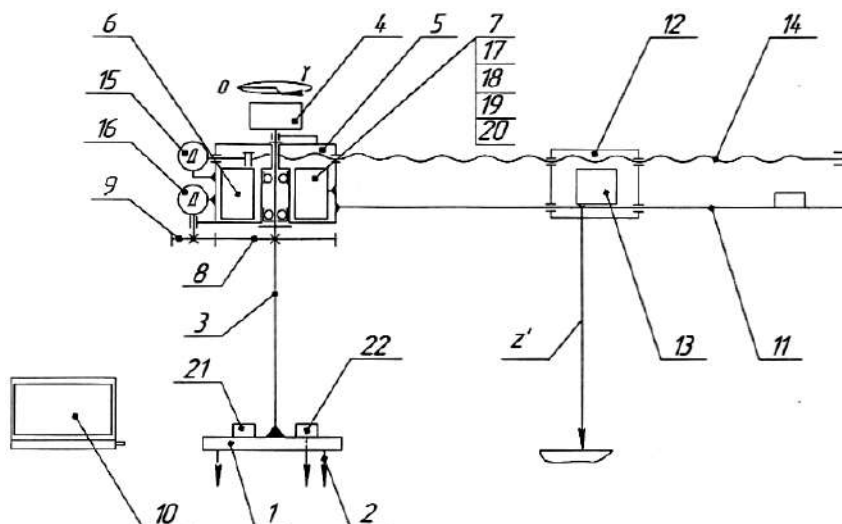


Рисунок 2 – Профилограф. Обозначения: 1 – основание, 2 – стержни, 3 – стойка, 4 – угловой датчик, 5 – подвижный корпус, 6 – источник питания, 7 – блок управления, 8 – опорное колесо, 9 – сателлит, 10 – ноутбук, 11 – направляющая, 13 – лазерный датчик, 15, 16 – электродвигатели, 17 – приемник GPS, 18 – акселерометр, 19 – гироскоп, 20 – компас, 21 – термогигрометр, 22 – почвенный влагомер
Figure 2 – Profiler. Designations: 1 – base, 2 – rods, 3 – post, 4 – angle sensor, 5 – movable body, 6 – power source, 7 – control unit, 8 – support wheel, 9 – satellite, 10 – laptop, 11 – guide, 13 – laser sensor, 15, 16 – electric motors, 17 – GPS receiver, 18 – accelerometer, 19 – gyroscope, 20 – compass, 21 – thermohygrometer, 22 – soil moisture meter

На базе профилографа реализован способ определения тальвега на агроландшафтах склоновых земель в полевых условиях. По профилю сканируемых окружностей (рисунок 3) определялось направление склона и устанавливалось расположение тальвега.

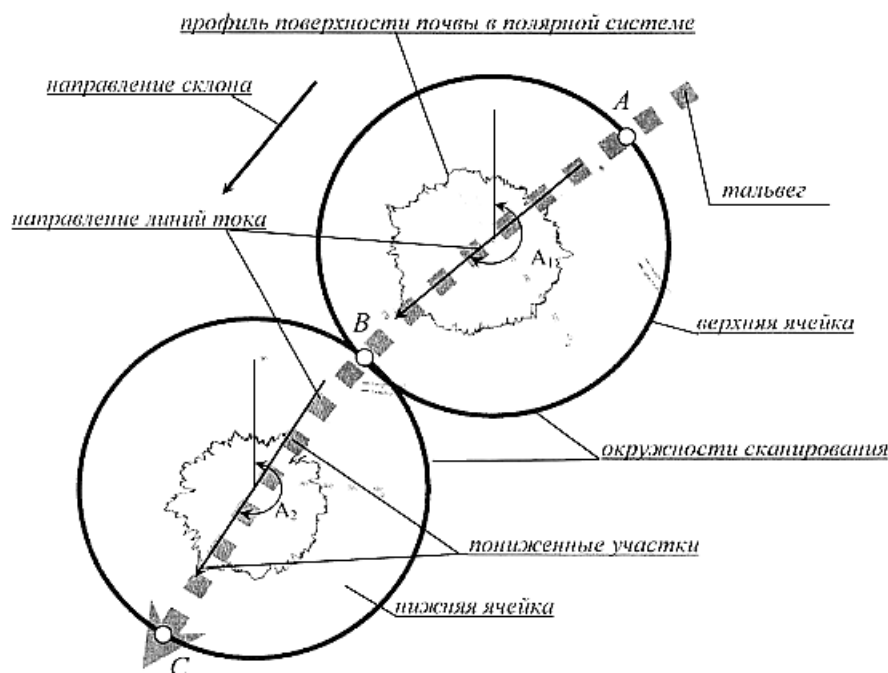


Рисунок 3 – Определение тальвега по профилю сканируемых окружностей
Figure 3 – Determination of the thalweg by the profile of the scanned circles

Для оценки изменения интенсивности впитывания воды на склонах до и после прохождения МТА использовались совместно методы водных балансов и малых дождевальных установок, что позволило проводить имитацию естественного дождя при известных/заданных интенсивности, объеме стока, испарения и инфильтрации. Моделирование позволило установить соответствие между характеристиками склона и почвы с балансовыми цифрами, полученными экспериментально и из наблюдений за склонами во время дождя или полива.

Анализ формулы (1) показал необходимость дальнейшего развития данного энергетического подхода к рассмотрению эрозионных процессов, а именно рациональность использования в формуле (1) вместо удельной энергии $\psi = \Delta A / \Delta m$ удельную мощность $\psi = \Delta A / (\Delta t \Delta m)$. Размерность при этом изменяется. При предлагаемом подходе связи между физическими величинами в формулах имеют степенной характер, что позволяет использовать теорию размерности для получения функциональных зависимостей. Использование теории размерности позволяет ввести в рассмотрение величины, связанные с физико-механическими свойствами почв и логически их увязывающие, а именно: коэффициент влагопроводности почвы K ($\text{м}^3 \cdot \text{с}^3 / \text{кг}$) и плотность почвы ρ ($\text{кг} / \text{м}^3$). Каждая из этих величин зависит от гранулометрического и минералогического состава, пористости и других характеристик почвы. В итоге вместо величины ψ использовался комплекс $\psi / (K \cdot \rho)$.

При высоких значениях влажности, соответствующих осадкам или таянию снега, зависимость влагопроводности почвы от объемной влажности грунта w известна и может быть представлена формулой:

$$K = K_0 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{w}{\Pi_0} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где K_0 – коэффициент фильтрации, w – объемная влажность почвы, Π_0 – пористость.

Эта зависимость позволяет сравнить реально наблюдаемую величину сорптивности (как впитывающей способности) почвы с результатами моделирования и внести корректирующие коэффициенты в разработанные модели почвы. Величина коэффициента фильтрации достаточно тесно взаимосвязана с сорбционной способностью (сорптивностью) почвы, поскольку они обе зависят от гранулометрического состава, структуры, пористости и других физических свойств почвы.

По результатам обработки данных интегрирования кривой основной гидрофизической характеристики (ОГХ) в диапазоне значений влажности от фиксированных значений w до величины, соответствующей полному заполнению пор водой $w = P_0$, зависимость величины потенциала эрозионной стойкости ψ от значения влажности w почвы интерполируется функцией $\psi \sim w^{-3}$,

Для иллюстрации детального анализа комплексного воздействия машинно-тракторных агрегатов на агроландшафт рассмотрим два предельных сценария. В первом случае после прохода техники образуется уплотнённая поверхность с повышенной устойчивостью к эрозии, но низкой способностью к впитыванию влаги. На такой поверхности быстро, в зависимости от интенсивности осадков, образуются микроручейки, которые размывают почву. Во втором случае после прохода МТА остаётся рыхлая почва с пониженной устойчивостью к эрозии, но высокой способностью к впитыванию влаги. Система борозд, расположенных перпендикулярно градиенту уклона, до определённого предела препятствует образованию микроручейков.

В реальных условиях оба описанных сценария накладываются на величину уклона, угол между бороздами и горизонталями и пр., поэтому результаты могут иметь некоторые промежуточные значения, что позволяет оценить изменение устойчивости агроландшафта к эрозии в целом и определить степень смыва почвы. Предлагаемый подход реализует возможность комплексно сравнить влияние различных МТА и видов обработки почвы на эрозионную устойчивость.

Описанная методика учитывает не только интенсивность и продолжительность осадков, но и стабильные свойства агроландшафта и его почв, такие как тип почвы, удельная поверхность ее частиц, а также динамически изменяющиеся свойства, такие как пористость, влажность, микрорельеф и другие, которые на протяжении вегетационного периода изменяются в результате воздействия почвообрабатывающих орудий.

Результаты и обсуждение. Проверка полученных теоретических предпосылок проведена в полевых экспериментах (рисунок 4) и лабораторных условиях (рисунок 5).

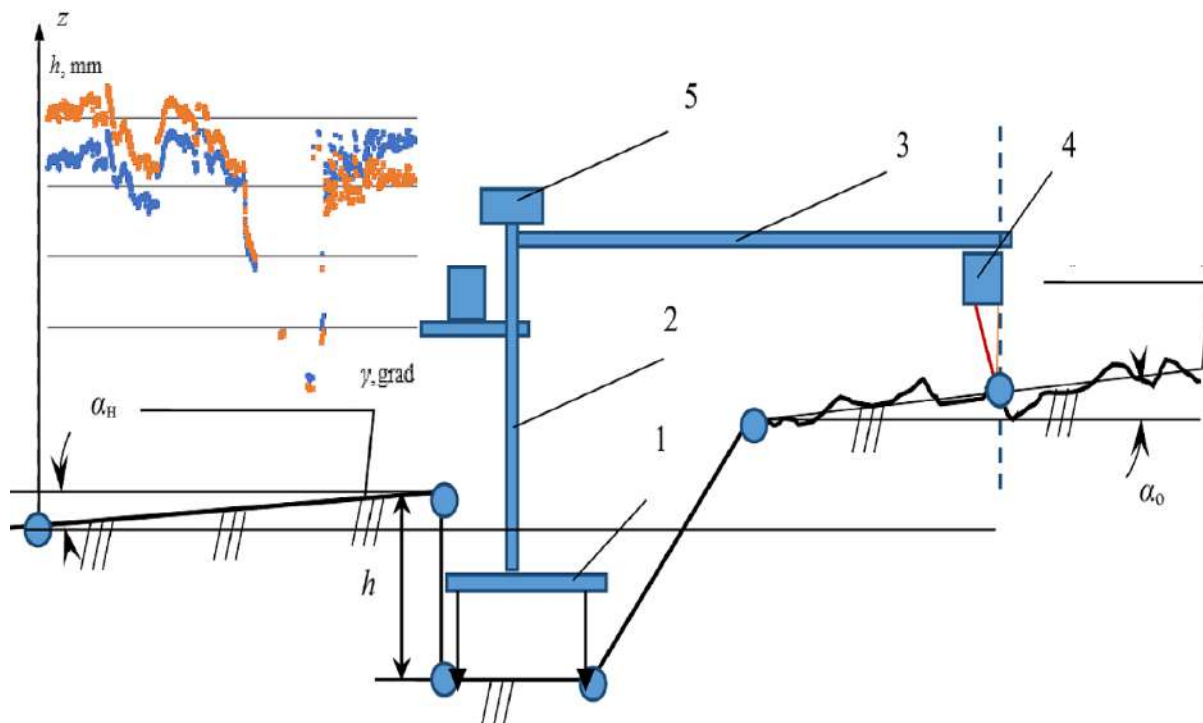


Рисунок 4 – Получаемые данные о вспаханной поверхности почвы: реальные (синий) и с поправкой на уклон (оранжевый). Обозначения: 1 – основание, 2 – держатель, 3 – подвижный кронштейн, 4 – лазерный датчик расстояния, 5 – энкодер

Figure 4 – Resulting data on the plowed soil surface: real (blue) and slope-corrected (orange). Designations: 1 – base, 2 – holder, 3 – movable bracket, 4 – laser distance sensor, 5 – encoder

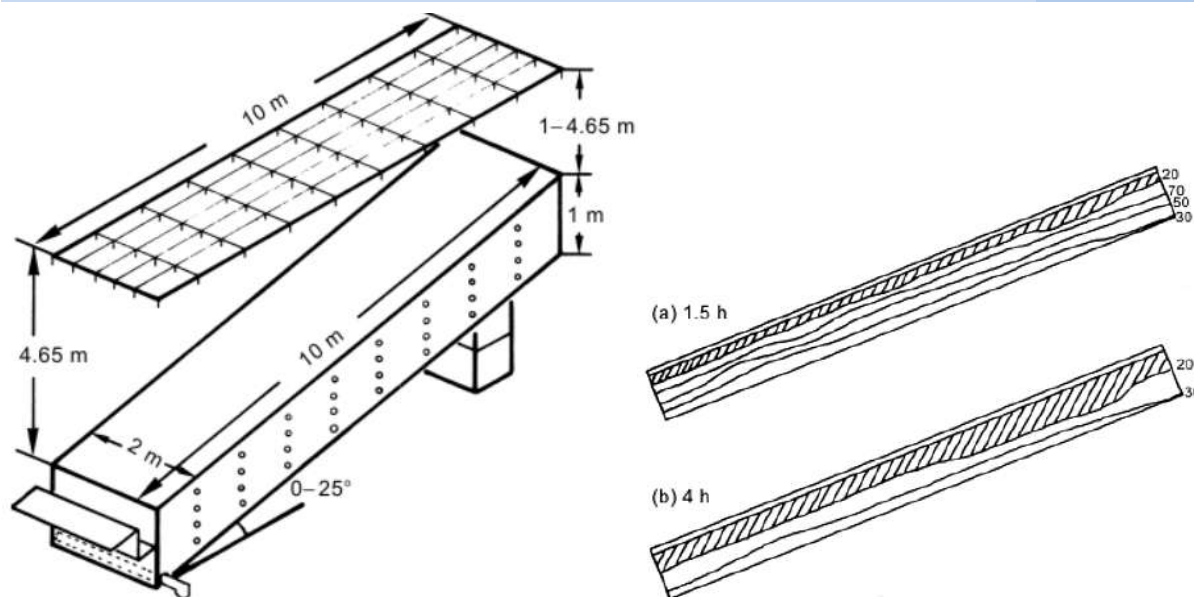


Рисунок 5 – Установка для наблюдения за процессами впитывания дождевой влаги на склонах и определения момента появления микроручейков; (а, б) – профили промачивания через 1,5 и 4 часа после начала полива

Figure 5 – Installation for monitoring the processes of absorption of rain moisture on slopes and determining the moment of micro-streams appearance; (a, b) – soaking profiles 1.5 and 4 hours after the start of watering

Для моделирования процессов впитывания и определения момента начала стока в зависимости от объема и интенсивности поступающей в почву влаги была разработана программа для ЭВМ, выполняющая расчеты с учетом основной гидрофизической характеристики почвы и функции влагопроводности. Программное обеспечение оснащено интерактивным графическим интерфейсом для дискретизации профиля почвы и графического представления результатов. Результаты численного моделирования представлены на рисунке 6.

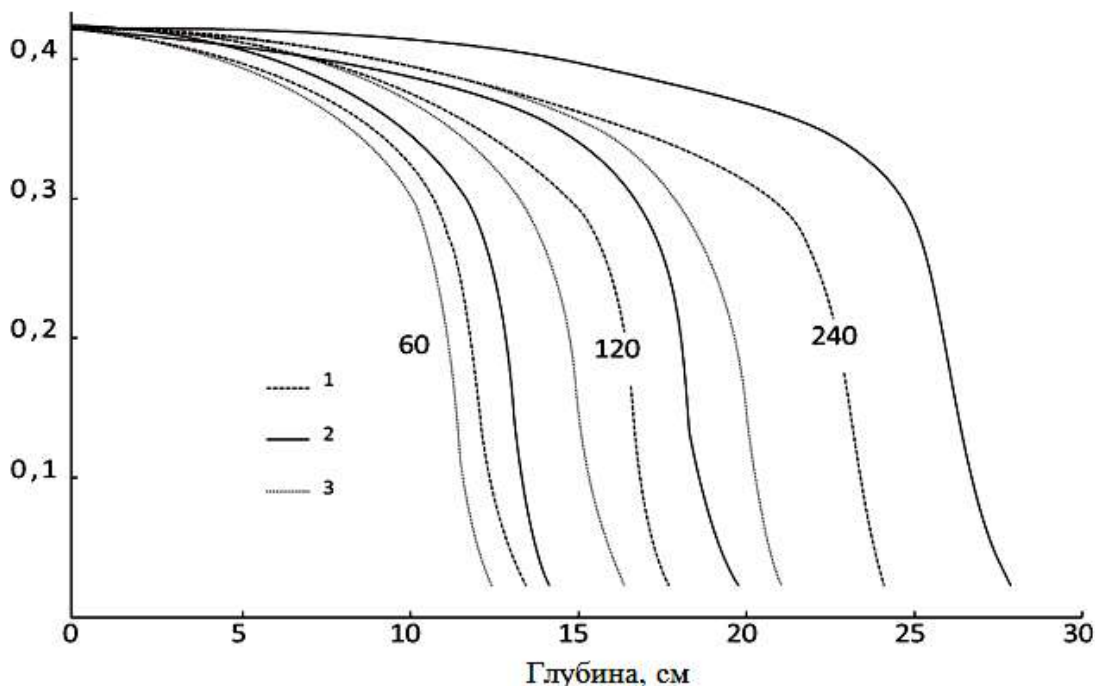


Рисунок 6 – Впитывание дождевой влаги после работы различных машинно-тракторных агрегатов (профили увлажнения соответствуют интервалам времени 60, 120 и 240 мин)

Figure 6 – Absorption of rain moisture after the operation of various machine and tractor units (moistening profiles correspond to time intervals of 60, 120 and 240 minutes)

Кривые 1 и 2 соответствуют различным почвообрабатывающим МТА, а кривая 3 соответствует почве до обработки.

Выводы. Выделим основные моменты, связанные с влиянием работы МТА на почву. Основное влияние оказывается на структуру верхнего плодородного слоя и плотность почвы, которые, в свою очередь, детерминируют водопроницаемость и, следовательно, интенсивность поверхностного стока. Работа сельхозтехники приводит к изменениям в растительном покрове, который тоже играет существенную роль в снижении интенсивности стока вод. Работа МТА может приводить к изменениям водного режима почв, изменениям микрорельефа, повышению/понижению уровней, появлению колеи. Все это суммарно влияет на устойчивость склона. Таким образом, в качестве оценки работы МТА на склоне может выступать изменение эрозионной стойкости склона в целом, которое должно быть выражено не только в объеме, но и в интенсивности осадков, обуславливающих образование системы микроручейков, приводящей к смыву почвы.

Conclusions. Let's highlight the main points related to the impact of the MTA's work on the soil. The main influence is on the structure of the upper fertile layer and the density of the soil, which, in turn, determine the water permeability and, consequently, the intensity of surface runoff. The work of agricultural machinery leads to changes in vegetation, which also plays a significant role in reducing the intensity of water runoff. The work of the MTA can lead to changes in the water regime of soils, changes in microrelief, elevation/lowering of levels, and the appearance of a track. All this has a cumulative effect on the stability of the slope. Thus, a change in the erosion resistance of the slope as a whole, which should be expressed not only in volume, but also in the intensity of precipitation, causing the formation of a system of micro-streams, leading to soil erosion, can serve as an assessment of the work of the MTA on the slope.

Библиографический список

1. Vasiliev S. A., Lopotkin A. M., Vasilyeva A. V., Vasilieva E. A. Study of features of differentiated soil treatment by machine-tractor units on agricultural landscapes of slope lands. IOP Conference Series: Earth and Environment Science. 2020. No 548 (5). 052007.
2. Shaheb M. R., Venkatesh R., Shearer S. A. A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. Journal of Biosystems Engineering. 2021. No 46 (4). Pp. 417-439.
3. Шило И. Н., Романюк Н. Н., Орда А. Н., Нукешев С. О., Кушнир В. Г. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. № 12 (1). С. 31-36.
4. Ghosal K., Das Bhattacharya S. A review of RUSLE model. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2020. No 48. Pp. 689-707.
5. Igwe P. U., Onuigbo A. A., Chinedu O. C., Ezeaku I. I., Muoneke M. M. Soil erosion: A review of models and applications. International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 2017. No 4 (12). Pp. 138-150.
6. Borrelli P., Alewell C., Alvarez P., Anache J., Baartman J., et al. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. Science of the Total Environment. 2021. No 78. 146494.
7. Martinez-Agirre A., Álvarez-Mozos J., Milenković M., Pfeifer N., Giménez R., Valle J. M., Rodríguez Á. Evaluation of terrestrial laser scanner and structure from motion photogrammetry techniques for quantifying soil surface roughness parameters over agricultural soils. Earth Surface Processes and Landforms. 2020. No 45 (3). Pp. 605-621.
8. Milenković M., Pfeifer N., Glira P. Method for Measuring a Surface Profile Using a Mechatronic Profiler with Parallel Control of Sensor Drives. Remote Sensing. 2015. No 7 (2). Pp. 2007-2045.
9. Koch T., Chiffard P., Aartsma P., Panten K. A review of the characteristics of rainfall simulators in soil erosion research studies. MethodsX. 2023. No 12. 102506.
10. Прущик А. В., Сухановский Ю. П., Вытовтов В. А., Титов А. Г. Дождевание как экспресс-метод изучения водной эрозии почв. Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2019. № 148. С. 163-169.
11. Larionov G. A., Bushueva O. G., Dobrovolskaya N. G., Kiryukhina Z. P., Krasnov S. F., Litvin L. F., Murataev R. R. Determination of the hydro physical parameters of soil in an erosion model. Eurasian Soil Science. 2010. No 43 (4). Pp. 453-458.
12. Bora M. J., Cai W., Pekkat S., Carg A., Sekharan S. Development of a simplified theoretical model to determine erodibility of compacted soil in hole erosion test based on fluid energy transformation. Acta Geotechnica. 2023. No 18 (10). Pp. 5441-5455.
13. Gelet R., Kodieh A., Marot D., Nguyen, N. Analysis of volumetric internal erosion in cohesionless soils: model, experiments and simulations. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2021. No 45 (18). Pp. 2780-2806.
14. Lee S., Chu M.L., Guzman J.A., Flanagan D.C. Modeling soil erodibility and critical shear stress parameters for soil loss estimation. Soil & Tillage Research. 2022. V. 218. 105292.
15. Geng R., Jin Q., Lei S., Liu H., Lu B., Xie M. Comparison of Critical Shear Stress of Rill Erosion Estimated from Two Methods. Water. 2022. No 14 (12). 1949.
16. Alekseev V., Maksimov V., Chuchkalov S., Medvedev V., Mishin P., Kazakov Yu., Kondratieva N., Lekomtsev P., Yunusov G., Obolensky N. Development of a criteria-based approach to agroecological assessment of slope agrolandscapes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. No 6. V. 10 (96). Pp. 28-34.
17. Vasiliev S. A., Fedorova A. A., Alekseev V. V. Method for measuring a surface profile using a mechatronic profiler with parallel control of sensor drives. Measurement Techniques. 2022. No 64 (12). Pp. 978-984.

References

1. Vasiliev S. A., Lopotkin A. M., Vasilyeva A. V., Vasilieva E. A. Study of features of differentiated soil treatment by machine-tractor units on agricultural landscapes of slope lands. IOP Conference Series: Earth and Environment Science. 2020. No 548 (5). 052007.
2. Shaheb M. R., Venkatesh R., Shearer S. A. A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. Journal of Biosystems Engineering. 2021. No 46 (4). Pp. 417-439.
3. Shilo I. N., Romanyuk N. N., Orda A. N., Nukeshev S. O., Kushnir V. G. Influence of Multiaxial Running System of Machine-Tractor Units on Soil Density. Agricultural Machinery and Technologies. 2018. № 12 (1). Pp. 31-36.
4. Ghosal K., Das Bhattacharya S. A review of RUSLE model. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2020. No 48. Pp. 689-707.
5. Igwe P. U., Onuigbo A. A., Chinedu O. C., Ezeaku I. I., Muoneke M. M. Soil erosion: A review of models and applications. International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 2017. No 4 (12). Pp. 138-150.
6. Borrelli P., Alewell C., Alvarez P., Anache J., Baartman J., et al. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. Science of the Total Environment. 2021. No 78. 146494.
7. Martinez-Agirre A., Álvarez-Mozos J., Milenković M., Pfeifer N., Giménez R., Valle J. M., Rodríguez Á. Evaluation of terrestrial laser scanner and structure from motion photogrammetry techniques for quantifying soil surface roughness parameters over agricultural soils. Earth Surface Processes and Landforms. 2020. No 45 (3). Pp. 605-621.
8. Milenković M., Pfeifer N., Glira P. Method for Measuring a Surface Profile Using a Mechatronic Profiler with Parallel Control of Sensor Drives. Remote Sensing. 2015. No 7 (2). Pp. 2007-2045.
9. Koch T., Chiffard P., Aartsma P., Panten K. A review of the characteristics of rainfall simulators in soil erosion research studies. MethodsX. 2023. No 12. 102506.
10. Prushchik A. V., Sukhanovsky Y. P., Vytovtov V. A., Titov A. G. Sprinkling as an express method for studying water erosion of soils. Collection of Scientific Works of the State Nikitsky Botanical Garden. 2019. № 148. Pp. 163-169.
11. Larionov G. A., Bushueva O. G., Dobrovol'skaya N. G., Kiryukhina Z. P., Krasnov S. F., Litvin L. F. Murataev R. R. Determination of the hydro physical parameters of soil in an erosion model. Eurasian Soil Science. 2010. No 43 (4). Pp. 453-458.
12. Bora M. J., Cai W., Pekkat S., Carg A., Sekharan S. Development of a simplified theoretical model to determine erodibility of compacted soil in hole erosion test based on fluid energy transformation. Acta Geotechnica. 2023. No 18 (10). Pp. 5441-5455.
13. Gelet R., Kodieh A., Marot D., Nguyen, N. Analysis of volumetric internal erosion in cohesionless soils: model, experiments and simulations. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2021. No 45 (18). Pp. 2780-2806.
14. Lee S., Chu M.L., Guzman J.A., Flanagan D.C. Modeling soil erodibility and critical shear stress parameters for soil loss estimation. Soil & Tillage Research. 2022. V. 218. 105292.
15. Geng R., Jin Q., Lei S., Liu H., Lu B., Xie M. Comparison of Critical Shear Stress of Rill Erosion Estimated from Two Methods. Water. 2022. No 14 (12). 1949.
16. Alekseev V., Maksimov V., Chuchkalov S., Medvedev V., Mishin P., Kazakov Yu., Kondratieva N., Lekomtsev P., Yunusov G., Obolensky N. Development of a criteria-based approach to agroecological assessment of slope agrolandscapes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. No 6. V. 10 (96). Pp. 28-34.
17. Vasiliev S. A., Fedorova A. A., Alekseev V. V. Method for measuring a surface profile using a mechatronic profiler with parallel control of sensor drives. Measurement Techniques. 2022. No 64 (12). Pp. 978-984.

Информация об авторах

Чучкалов Сергей Иванович, старший преподаватель, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Филиппов Владимир Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Алексеев Виктор Васильевич, доктор технических наук, доцент, профессор, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Васильев Сергей Анатольевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15); профессор, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (Российская Федерация, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>, e-mail: vsa_21@mail.ru

Максимов Иван Иванович, доктор технических наук, профессор, Чувашский государственный аграрный университет (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29).

Authors' Information

Chuchkalov Sergey Ivanovich, Senior Lecturer, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

Filippov Vladimir Petrovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

Alekseev Viktor Vasilyevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor Professor of the Department of General Physics, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

Vasiliev Sergey Anatolyevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Department, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15); Professor, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (Russian Federation, Nizhny Novgorod region, Knyaginino, Otkyabrskaya str., 22a), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>, e-mail: vsa_21@mail.ru

Maksimov Ivan Ivanovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chuvash State Agrarian University (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx St., 29).

**THE AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF RELEASING THE SPROUT
FROM UNDER THE FILM USING THE MOBILE ROBOTIC PLATFORM****Azhgaliev R. S., Vorobyeva N. S., Ivanov A. G., Dyashkin A. V.**Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kafedra.mehanika@volgau.ru

Received 27.03.2025

Submitted 21.05.2025

Abstract

Introduction. When cultivating melons with direct sowing under mulching film at a certain period of vegetation, there is a need to release the sprout, the crop grows under the film until a certain phase of vegetative development and there is a need to release the sprout from under the film by cutting it above the plant and then fixing it around it. Currently, these operations are performed mainly manually, which requires a lot of labor. Existing mechanized devices for creating holes in mulching film are used only when cultivating crops by the seedling method. The article considers the automation of the technological process of cultivating melons under film using a mobile robotic platform. **Object.** The object of research is a mobile robotic platform with working bodies for cutting and fixing the film. **Materials and methods.** The technical parameters of the robotic platform must meet a number of requirements that take into account both the peculiarities of crop cultivation and the necessary functionality when performing operations of this technological process. The main parts of the robotic platform are considered, the emphasis is on studying the features of the control system. **Results and conclusions.** It is proposed to automate the technological process using a mobile robotic platform with working bodies for cutting and fixing the film. The technical parameters of the robotic platform must meet a number of requirements that take into account both the peculiarities of crop cultivation and the necessary functionality when performing operations of this technological process. Based on the agro-technological requirements for the cultivation of melons, the chassis has the following overall dimensions: wheelbase 1600 mm, track width between the driving wheels 1400 mm, and between the driven 1300 mm, height 1200 mm.

Keywords: robotic platforms, melons, mulch film, mulch film incision, agricultural robots.

Citation. Azhgaliev R. S., Vorobyeva N. S., Ivanov A. G., Dyashkin A. V. The automation of the technological process of releasing the sprout from under the film using the mobile robotic platform. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 547-557 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-61.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation, or analysis of this study. All authors of this article have reviewed and approved the presented final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.3:635.61/63

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ РОСТКА
ИЗ-ПОД ПЛЕНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ
ПЛАТФОРМЫ****Ажгалиев Р. С., аспирант****Воробьева Н. С., доктор технических наук, доцент****Иванов А. Г., кандидат технических наук, доцент****Дяшкин А. В., кандидат технических наук, доцент**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. При возделывании бахчевых при непосредственном севе под мульчирующей пленкой в определенный период вегетации возникает необходимость высвободить росток, культура растет под пленкой до определенной фазы вегетативного развития, после чего возникает необходимость высвободить росток из-под пленки путем надреза её над растением с последующей фиксации вокруг него. В настоящее время эти операции выполняются в основном вручную, что требует больших трудозатрат. Существующие механизированные устройства для создания отверстий в мульчирующей пленке применяют только при возделывании культур рассадным способом. В статье рассматривается автоматизация технологического процесса возделывания бахчевых под пленкой с помощью мобильной роботизированной платформы. **Объект.** Объектом исследований является мобильная роботизированная платформа с рабочими органами для надреза и фиксации пленки. **Материалы и методы.** Технические параметры роботизированной платформы должны соответствовать ряду требований, учитывающих одновременно особенности возделывания культуры и необходимую функциональность при выполнении операций данного технологического процесса. Рассматриваются основные части роботизированной платформы, акцент делается на изучение особен-

ностей работы системы управления. **Результаты и выводы.** Предлагается автоматизировать технологический процесс с помощью мобильной роботизированной платформы с рабочими органами для надреза и фиксации пленки. Технические параметры роботизированной платформы должны соответствовать ряду требований, учитывающие одновременно особенности возделывания культуры и необходимую функциональность при выполнении операций данного технологического процесса. Исходя из агротехнологических требований возделывания бахчевых культур, шасси имеет следующие габаритные размеры: колесная база 1600 мм, ширина колеи между ведущими колесами 1400 мм, а между ведомыми 1300 мм, высота 1200 мм.

Ключевые слова: роботизированные платформы, бахчевые культуры, мульчирующая пленка, надрез мульчирующей пленки, сельскохозяйственные роботы.

Цитирование. Ажгалиев Р. С., Воробьева Н. С., Иванов А. Г., Дяшкин А. В. Автоматизация технологического процесса высвобождения ростка из-под пленки с использованием мобильной роботизированной платформы. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 547-557. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-61.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В сельском хозяйстве, характеризующемся широким спектром задач и применением разнообразных технологий, закономерно развивается специализированная отрасль, занимающаяся внедрением роботизированных систем. Сельскохозяйственные роботы не всегда могут быть многофункциональными из-за разнообразия выполняемых работ в сельском хозяйстве, скорее всего они должны быть специализированы для выполнения определенной задачи. Вопросы применения и необходимые характеристики сельскохозяйственных роботов освещены в работах сотрудников ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Измайлова А. Ю. Дорохова А. С., Годжаева З. А., Смирнова И. Г., Хорта Д. О.) и других российских исследователей, таких как Ронжин А. Л., Жога В. В., Несмиянов И. А. [1-9]. Сельскохозяйственные роботы применяются в различных областях и могут быть классифицированы следующим образом:

- Растениеводство: Роботизированные системы для обработки полей и ухода за растениями (рисунок 1б).
- Животноводство: Роботы, используемые для автоматизации процессов в животноводческих комплексах (рисунок 1в).
- Логистика: Роботизированные системы для погрузки, разгрузки и транспортировки сельскохозяйственной продукции (рисунок 1д).
- Природообустройство: Роботы для ландшафтного дизайна, ухода за садами и парками (рисунок 1г).
- Первичная обработка: Роботизированные системы, выполняющие начальную обработку сельскохозяйственной продукции (рисунок 1а).

Важным этапом в сельскохозяйственном производстве является первичная обработка, включающая сортировку, упаковку, разделку и другие операции, как указано в источнике [10].

При этом Волгоградская и Астраханская области являются лидерами по производству овощных и бахчевых культур. Механизацией возделывания бахчевых культур занимались ряд учёных: Цепляев А. Н., Шапоров М. Н., Седов А. В. [11-12] и др. Одним из эффективных для указанных областей методов повышения урожайности и качества продукции является использование мульчирующей пленки. Этот агротехнический прием позволяет создавать в почве благоприятные условия для роста и развития растений.

Традиционно для мульчирования почвы используют навоз, торф, опилки, солому и другие растительные остатки, но в последнее время для мульчирования почвы чаще применяют различные синтетические материалы, прикрытие почвы специальным материалом (пленкой) сохраняет тепло и влагу, предотвращает рост сорняков и защищает корни растений от перегрева. Применение мульчирующей пленки воздействует на все аспекты развития бахчевых культур, начиная от улучшения условий для прорастания семян до ускорения созревания плодов. Мульчирующая пленка создает благоприятные условия для роста и развития растений: она сохраняет влагу, предотвращает сорняки, защищает от перегрева или переохлаждения почвы. Это способствует активному росту корней, формированию крепких стеблей и обильной завязи плодов.



а)



б)



в)



г)



д)

Рисунок 1 – Направления применения сельскохозяйственных роботов
Figure 1 – Application areas of agricultural robots

Еще одно преимущество мульчирования – это защита от болезней и вредителей. Пленка предотвращает контакт растений с грунтом, где часто обитают опасные микроорганизмы и насекомые. Это снижает риск поражения культурных растений и позволяет уменьшить использование химических препаратов.

Кроме того, мульчирование способствует экономии времени и труда. Укладывание пленки на грядки позволяет сократить время, затрачиваемое на полив, прополку и рыхление почвы. Также нет необходимости в установке опор для поддержки растений, так как пленка сама обеспечивает им поддержку.

При возделывании бахчевых культур под пленкой существует две основные технологии: посадка саженцев в отверстия на расстеленной мульчирующей пленке и сев семян с последующей укрытием пленкой. При севе семян с последующей укладкой пленки культура развивается под пленкой до определенной фазы развития, при этом возникает необходимость в высвобождении роста из-под пленки и фиксации пленки вокруг.

На данный момент выполнение надреза пленки над растением с последующей фиксацией выполняется традиционным способом (рисунок 2), что довольно трудоемкий процесс. Существуют механические устройства (рисунок 3) для выполнения отверстий в пленке, однако они применимы при посадке саженцев.



а)



б)

Рисунок 2 – Ручное выполнение отверстий: а – Проделывание отверстий в пленке с помощью дырокола, б – Ручной надрез пленки ножом

Figure 2 – Manual hole making: a – Making a hole in the film using a hole punch, b – Manual cutting of the film with a knife



а)



б)

Рисунок 3 – Пленкоукладчики с устройством для проделывания отверстий:

а – Грядкоформирователь-пленкоукладчик модель AL-S14,

б – Пневматическая линейная сеялка SMP

Figure 3 – Film layers with a device for making a hole:

a – Bed former-film layer model AL-S14, b – Pneumatic linear seeder SMP

Сельскохозяйственные роботы, применяемые в растениеводстве, не способны осуществлять выполнение технологических операции по высвобождению ростка из-под мульчирующей пленки с последующей фиксацией (рисунок 4).



а)



б)

Рисунок 4 – Роботизированные самоходные машины: а – Роботизированная самоходная машина от компании Robotti, б – Робот-пропольщик Волгоградский ГАУ

Figure 4 – Robotic self-propelled machines: а – Robotic self-propelled machine from Robotti, б – Robot weeder Volgograd State Agrarian University

При ручном трудоемком высвобождении ростка наблюдается дефицит трудовых ресурсов, обостряющейся стихийными вспышками вирусных пандемии, а выполнение технологического процесса ограничено агротехническими сроками. В связи с проблематикой обеспечения трудовыми ресурсами возникает потребность в совершенствовании технологического процесса возделывания бахчевых культур с разработкой роботизированного устройства.

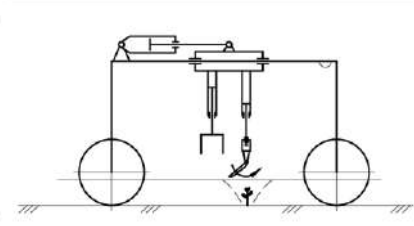
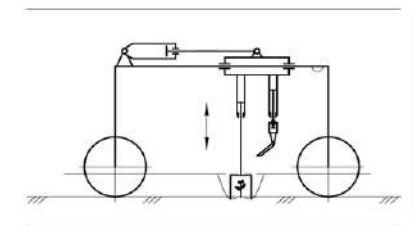
Материалы и методы. Автоматизацию технологического процесса предлагается осуществлять с помощью роботизированной платформы с соответствующими рабочими органами для надреза мульчирующей пленки и фиксации её. При этом технические характеристики должны обосновываться на агротехнические требования возделываемой культуры с учетом функциональных особенностей при выполнении технологических операции (таблица 1).

Таблица 1 – Технологический процесс

Table 1 – Technological process

Роботизированная платформа заезжает в начало ряда и начинает двигаться вдоль. Определяется местоположение культуры при помощи технического зрения, и при достижении зоны действия начинается позиционирование рабочих органов. / The robotic platform drives into the front of the row and begins to move along. The location of the crop is determined with the help of technical vision, and when the area of action is reached, the positioning of the working tools begins	
Далее приводы позиционируют рабочий орган так, чтобы он находился над растением для надреза пленки. / Next, the actuators position the screed so that it is above the plant to cut the film	
Определяется расстояние до пленки. Актуатор рабочего органа опускает на определенную высоту над пленкой таким образом, чтобы он находился в зоне резания. / The distance to the film is determined. The actuator of the working tool is lowered to a certain height above the film so that it is in the cutting zone	

Окончание таблицы 1

При достижении необходимой высоты подается питание на рабочий для осуществления надреза пленки. После окончания рабочий орган принимает исходное положение. / When the required height is reached, power is supplied to the working floor to make a film cut. After completion, the working body takes its initial position	
С помощью системы позиционирования подводится следующий рабочий орган для фиксации пленки. Включается линейный привод второго рабочего органа, который опускаясь на надрезанные части, вдавливает края пленки, фиксируя их в почве. / With the help of a positioning system, the next working body is brought to fix the film. The linear drive of the second working body is turned on, which, descending on the incised parts, presses the edges of the film, fixing them in the soil	

Для осуществления всех операций технологического процесса предлагается схема роботизированной платформы (Патент № 2785580 С1 Российская Федерация, МПК В25J 5/00, А01В 39/24. Мобильное роботизированное шасси для надреза мульчирующей пленки над растением с последующей ее фиксацией: № 2022113948: заявл. 24.05.2022: опубл. 08.12.2022 / Н. С. Воробьева, А. В. Дяшкин, И. А. Несмиянов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образовательное "Волгоградский государственный аграрный университет".), базирующаяся на шасси робота-пропольщика [13].

Исходя из агротехнических требования возделывания бахчевых культур, шасси имеет следующие габаритные размеры: колесная база 1600 мм, ширина колеи между ведущими колесами 1400 мм, а между ведомыми 1300 мм, высота 1200 мм (рисунок 5).

Мобильная роботизированная платформа для возделывания бахчевых культур содержит следующие основные части (рисунок 5): конструкцию мобильной платформы, сменные модули рабочих органов, систему электропитания, систему управления, систему навигации систему технического зрения.

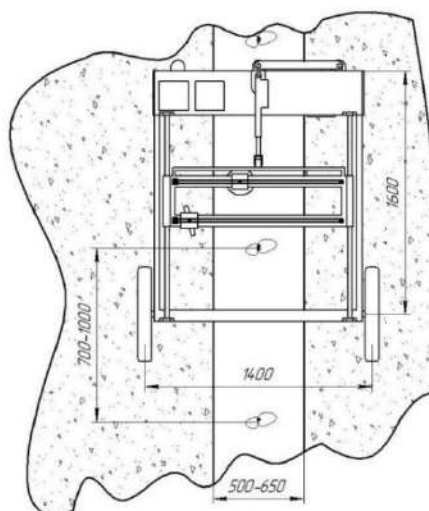


Рисунок 5 – Схема расположения роботизированного устройства в ряду
Figure 5 – Diagram of the arrangement of the robotic device in a row

Конструкция роботизированной платформы (рисунок 6) состоит из ведущих колес (мотор-колесо) 1, ведомых (управляемых) колес 2, стоек 3, рамы 4, направляющей 5, коробки с аккумуляторным отсеком и блоком управления 6, рабочих органов 7 и 8, датчиков

технического зрения 9, каретки 10, рулевого механизма 11, линейного привода 12 для перемещения каретки 10, электродвигателя с ременной передачей 14, приводов рабочих органов 15.

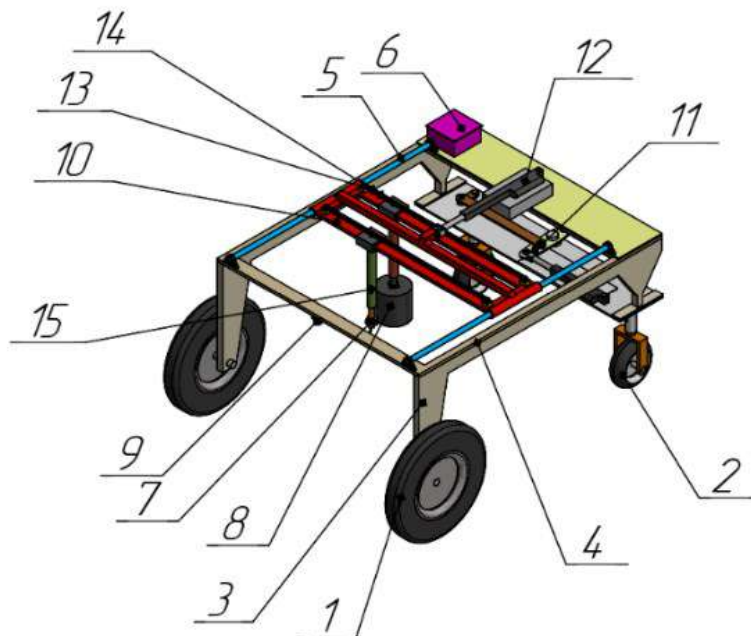


Рисунок 6 – Конструкция роботизированной платформы
Figure 6 – Design of the robotic platform

Рабочий орган для надреза пленки представляет собой намотанную нить накаливания крест-накрест, представленную нихромовой проволокой, которая осуществляет надрез пленки при токе 2-5 А, при этом длина линии надреза составляет 10-15 см. Рабочий орган для вдавливания пленки представляет собой пустотелый цилиндр с отверстиями для уменьшения разрежения давления при вдавливании кромки (краев, крайних частей) цилиндра в почву, при этом глубина вдавливания рабочего органа составляет от 2-5 см, а усилие вдавливания – 40-80 Н.

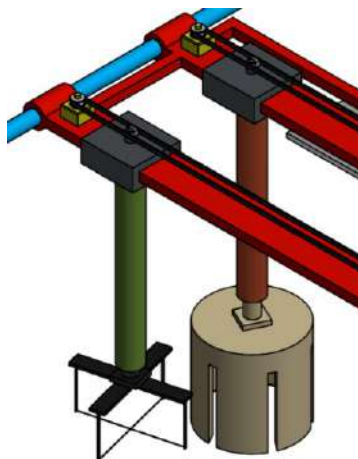


Рисунок 7 – Конструкция рабочих органов роботизированного устройства
Figure 7 – Design of the working bodies of the robotic device

Система электропитания обеспечивает работу многоуровневой системы управления и включает в себя блок литиевых аккумуляторов на 24 В для поддержания автономной работы роботизированного устройства, плату с контроллером питания для зарядки аккумуляторов от внешних источников питания, понижающий DC-DC преобразователь для обеспечения необходимого напряжения элементов системы управления.

Система управления связана с различными блоками самоходного шасси, обеспечивающими работоспособность всех управляющих и управляемых звеньев, с системами технического зрения и навигации.

Система технического зрения включает датчики ультразвука для определения расстояния до некоторых видов препятствия, цифровые оптико-электронные датчики и камеру структурированного света Asus xtion pro live, имеющую поле зрения: 58 градусов по горизонтали, 45 градусов по вертикали, 70 градусов по диагонали, подключенная по USB интерфейсу к бортовому компьютеру.

Система навигации представляет частичную совокупность датчиков технического зрения, объединенного с блоком спутниковой навигационной системы в виде приемника ГЛОНАСС/GPS и блоком инерциальных датчиков.

Результаты и обсуждение. Для достижения необходимых результатов позиционирования и быстродействия системы используется многоуровневые или многопроцессорные системы управления. Система управления подразделена на два уровня: верхний и нижний (рисунок 8).

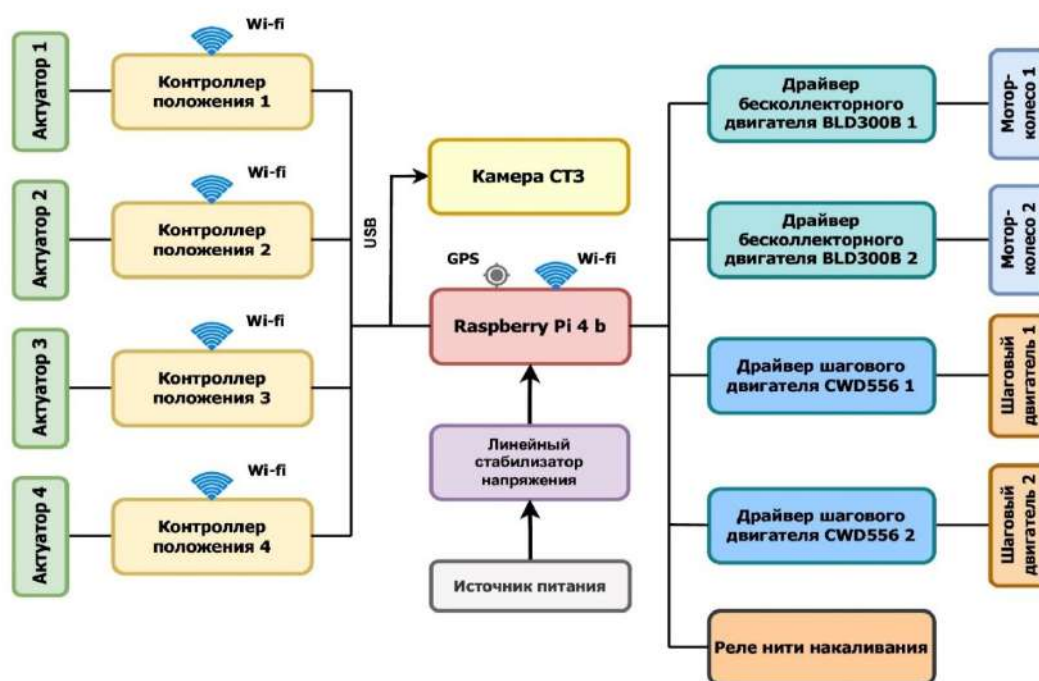


Рисунок 8 – Функциональная схема системы управления

Figure 8 – Functional diagram of the control system

Верхний уровень системы управления роботизированной платформой основан на высокопроизводительном микрокомпьютере Raspberry Pi 4 Model B. В котором в качестве CPU+GPU выступает Broadcom BCM2711, содержащий четыре 64-разрядных ядра ARM Cortex-A72 с тактовой частотой 1.5 ГГц. Микрокомпьютер оснащен 4GB ОЗУ, 40 портами ввода-вывода (GPIO), UART (Serial), I2C/TWI, SPI с селектором между двумя устройствами. Использование полноценного микрокомпьютера позволяет реализовать алгоритмы управления исполнительными приводами, и систему технического зрения.

Нижний уровень системы управления работает с исполнительными звеньями, которые представлены двумя мотор-колесами, четырьмя актуаторами и двумя шаговыми двигателями, реализующие законы движения рабочих органов.

За перемещение мобильного роботизированной платформы отвечают два мотор-колеса мощность по 300 Ватт каждый. За регулирование направления и скорости вращения отвечает 3-х фазный драйвер бесколлекторного двигателя BLD 300B. Драйвер реализован на современном цифровом сигнальном процессоре, обеспечивает высокий крутящий момент, низкий уровень шума, низкий уровень вибрации. Драйвер имеет ПИД-регулятор для контуров скорости и тока.

Управление актуаторами осуществляется с помощью контроллера положения собственной разработки. Центральным элементом контроллера положения является вычислительное ядро, на базе микроконтроллера STM32F100RBT6. Для управления скоростью и направлением движения линейного исполнительного органа (актуатора) контроллер положения содержит двухканальный усилитель мощности, основанный на чипе VN3SP30 работающий по принципу H-моста. Основные характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики чипа VN3SP30

Table 2 – Technical characteristics of the VN3SP30 chip

Напряжение питания (мин), В / Supply voltage (min), V	5.5
Напряжение питания (макс), В / Supply voltage (max), V	36
Кол-во каналов, шт / Number of channels, pcs	2
Выходной ток (макс), А / Output Current (Max), A	30
Рабочая температура, °C / Operating temperature, °C	-40 - 150

Линейными приводами выступают электрические актуаторы Moteck LD3-12-10-K3-300-11P403. Актуаторы оборудованы потенциометрическими датчиками обратной связи, с помощью которых отслеживается положение исполнительного звена и рабочего органа. Изменение длины прямо пропорционально изменению сопротивления многооборотного резистора.

Перемещение актуатора с рабочим органом по каретке осуществляется ременной передачей, приводящейся в действие от шагового мотора NEMA 23 с следующими техническими характеристиками (таблица 3).

Таблица 3 – Технические характеристики шагового двигателя NEMA 23

Table 3 – NEMA 23 Stepper Motor Specifications

Максимальный ток / Peak current	2.8 A
Размер / Size	57*57*76 мм (фланец 38 мм)
Вал / Shaft	8*23 мм (D-срез, лыска)
Угол шага / Pitch Angle	1.8° ± 5% (200 шагов на оборот)
Количество фаз / Number of phases	2 шт.
Класс изоляции / Insulation Class	B, 130 C°
Рабочая температура / Operating temperature	-20 C° до +50 C°
Инерция ротора / Rotor Inertia	480 г*см²
Вес / Weight	1000 г
Номинальное напряжение / Nominal voltage	24-48 V DC
Номинальный ток / Rated current	2 A
Сопротивление на фазу / Resistance per phase	1.13 Ом ± 5%
Индуктивность на фазу / Phase Inductance	3 мГн ± 10%
Момент удержания / Moment of retention	19.3 кг*см (189 Н*см)

Управление шагового двигателя осуществляется с помощью цифрового двухфазного драйвера CWD556, основанного на 32-разрядном процессоре DSP. Драйвер использует интерактивную адаптивную технологию PID, без ручной настройки могут автоматически генерироваться оптимальные параметры. Диапазон напряжения питания от 20 В до 50 В постоянного тока. Дробление шага двигателя 1/256, диапазон выходного тока составляет от 2,1 до 5,6 А; с автоматическим отключением холостого хода, самодиагностикой, перенапряжением, защитой от пониженного напряжения.

Система управления мобильной роботизированной платформы функционирует следующим образом: в бортовой компьютер на этапе подготовки роботизированной платформы загружается электронная карта, включающая ограничения и характеристики поля, схему посева культур, количество, длину и начало гона, задание и схему обработки поля.

При помощи тумблера происходит подача электроэнергии на систему управления. После инициализации системы включается система навигации и система технического зрения, где устанавливается местоположение и расчет траектории до начала отправной точки, а при помощи датчиков технического зрения определяются препятствия. Включается подача электроэнергии на приводные колеса через драйвер. Таким образом, поступают первичные команды для работы.

При прибытии на отправную точку происходит временная остановка для настройки системы: устанавливается край мульчирующей пленки, проверяются датчики на работоспособность, калибруется положения рабочих органов относительно мульчирующей пленки. После чего начинается выполнение технологического процесса надреза и фиксации пленки.

На верхний уровень системы управления поступают данные с системы технического зрения и системы навигации. При определении координат роста культуры поступают команды с верхнего уровня на нижний по интерфейсу I2C.

С нижнего уровня системы управления поступают необходимые значения, приводящие к работе линейных приводов и рабочих органов.

Заключение. Предлагаемая роботизированная платформа позволит автоматизировать процесс надреза пленки над растением с последующей фиксацией, при этом для осуществления качественного технологического процесса необходимо дополнительно осуществлять присыпку пленки вокруг растения. Технические характеристики роботизированной платформы подобраны исходя из агротехнических требований бахчевых культур, учитывающие функциональные особенности при выполнении технологических операций. В результате получили оптимальные габаритные размеры роботизированной платформы: колесная база 1600 мм, ширина колеи между ведущими колесами 1400 мм, а между ведомыми 1300 мм, высота 1200 мм.

Conclusions. The proposed robotic platform will automate the process of cutting the film over the plant with subsequent fixation, while in order to carry out a high-quality technological process, it is necessary to additionally sprinkle the film around the plant. The technical characteristics of the robotic platform are selected based on the agrotechnical requirements of melon crops, taking into account the functional features when performing technological operations. As a result, the optimal overall dimensions of the robotic platform were obtained: the wheelbase is 1600 mm, the track width between the driving wheels is 1400 mm, and between the driven wheels is 1300 mm, and the height is 1200 mm.

Библиографический список

1. Измайлов А. Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 536-538.
2. Годжаев З. А. и др. Проблемы и перспективы создания роботизированных технических средств для агропромышленного комплекса. Роботизированные и автоматизированные системы в автомобиле- и тракторостроении: материалы Всероссийской научной конференции. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2022. С. 4-11.
3. Дорохов А. С. и др. Разработка макетного образца гидромелиоративного робота "Гидробот 2.0". Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 4 (33). С. 105-113.
4. Гришин А. П., Гришин А. А., Гришин В. А. Алгоритм управления мелиоративным роботом на основе теории продуктивности. Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1 (30). С. 146-154.
5. Хорт Д. О. и др. Управление движением сельскохозяйственной автономной роботизированной платформы в сельском хозяйстве. 2023. Т. 17. № 1. С. 25-34.
6. Ронжин А. Л., Савельев А. И. Системы искусственного интеллекта в решении задач цифровизации и роботизации агропромышленного комплекса. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 22-29.
7. Несмиянов И. А. и др. Система управления манипулятора сельскохозяйственного робота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3 (35). С. 226-231.
8. Воробьева Н. С. и др. Мобильный роботизированный комплекс для возделывания пропашных культур. XVI Всероссийская мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2023). Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. Т. 1. С. 265-268.
9. Иванов А. Г. и др. Динамическая модель привода рабочего органа мобильного робота-пропольщика. XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2019): сборник трудов конференции. Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, 2020. С. 472-475.
10. Воробьева Н. С. Синтез программных перемещений и алгоритмов систем управления реконфигурируемых манипуляторов параллельно-последовательной структуры 2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»: диссертация. Волгоград, 2023. 473 с.
11. Цепляев А. Н. Комплексный подход к созданию машин для механизации бахчеводства. История создания и развития системы машин для бахчеводства. Стратегия развития сельского хозяйства в современных условиях. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2019. Т. 1. С. 20-26.
12. Шапров М. Н., Седов А. В., Седова О. П., Гурба А. В. Факторы, влияющие на технологический процесс уборки бахчевых культур. Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности. Казань, 2021.
13. Иванов А. Г., Воробьева Н. С., Дяшкин А. В. Обоснование геометрических параметров робота-пропольщика. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2019. № 3 (226). С. 22-25.

References

1. Izmailov A. Y. Intelligent technologies and robotic means in agricultural production. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019. V. 89. № 5. Pp. 536-538.
2. Gozhaev Z. A., et al. Problems and prospects for creating robotic technical means for the agro-industrial complex. Robotic and Automated Systems in Automobile and Tractor Engineering: Materials of the All-Russian Scientific Conference. Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 2022. Pp. 4-11.

3. Dorokhov A. S., et al. Development of a mock-up sample of the hydro-reclamation robot "Hydrobot 2.0". Innovations in agriculture. 2019. № 4 (33). Pp. 105-113.
4. Grishin A. P., Grishin A. A., Grishin V. A. Algorithm of control of reclamation robot based on the theory of productivity. Innovations in agriculture. 2019. № 1 (30). Pp. 146-154.
5. Hort D. O., et al. Control of the movement of agricultural autonomous robotic platform. Agricultural Machinery and Technologies. 2023. V. 17. № 1. Pp. 25-34.
6. Ronzhin A. L., Savelyev A. I. Artificial intelligence systems in solving problems of digitalization and robotization of the agro-industrial complex. Agricultural Machinery and Technologies. 2022. V. 16. № 2. Pp. 22-29.
7. Nesmiyanov I. A., et al. Control System of the Agricultural Robot Manipulator. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2014. № 3 (35). Pp. 226-231.
8. Vorobyeva N. S., et al. Mobile robotic complex for the cultivation of row crops. XVI All-Russian Multi-Conference on Management Problems (MCPU-2023). Volgograd: Volgograd State Technical University, 2023. V. 1. Pp. 265-268.
9. Ivanov A. G., et al. Dynamic model of the drive of the working body of a mobile robot weeder. XXXI International Innovative Conference of Young Scientists and Students on the Problems of Mechanical Engineering (IIKMUS - 2019): Proceedings of the Conference. Moscow: A. A. Blagonravov Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, 2020. Pp. 472-475.
10. Vorobyeva N. S. Synthesis of software displacements and algorithms of control systems for reconfigurable manipulators of parallel-sequential structure 2.5.4 "Robots, mechatronics and robotic systems": dissertation. Volgograd, 2023. 473 p.
11. Tseplyaev A. N. Integrated Approach to the Creation of Machines for Mechanization of Melon Growing. The history of the creation and development of the system of machines for melon growing. Strategy for the development of agriculture in modern conditions. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2019. V. 1. Pp. 20-26.
12. Shaprov M. N., Sedov A. V., Sedova O. P., Gurba A. V. Factors influencing the technological process of harvesting melons. Global challenges for food security: risks and opportunities. Kazan, 2021.
13. Ivanov A. G., Vorob'eva N. S., Dyashkin A. V. Obosnovanie geometricheskikh parametrov robota-propolichika [Justification of geometric parameters of the robot weeder]. Proceedings of the Volgograd State Technical University. 2019. № 3 (226). Pp. 22-25.

Информация об авторах

Ажгалиев Руслан Сарсенбаевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: agaliev08@gmail.com

Воробьева Наталья Сергеевна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Дяшкин Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: andrejdyashkin@mail.ru

Иванов Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: leha_2106@list.ru

Authors' Information

Azhgaliev Ruslan Sarsenbaevich, postgraduate student of the Volgograd State Agrarian University, Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: agaliev08@gmail.com

Vorobyeva Natalya Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Ivanov Aleksey Gennadievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: leha_2106@list.ru

Dyashkin Andrey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: andrejdyashkin@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-62

THE IMPROVEMENT OF THE INTER-ROW CULTIVATION TECHNOLOGY OF THE ROW CROPS

¹Borodin V. I., ¹Martynov I. S., ¹Shaprov M. N., ¹Sedov A. V., ¹Sadovnikov M. A., ²Boyko S. Yu.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Kamyshin Technological Institute (branch) «Volgograd State Technical University»
Kamyshin, Volgograd Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ismartynov@mail.ru

Received 07.02.2025

Submitted 25.04.2025

The research was conducted as part of a government assignment funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. 075-03-2025-451.

Summary

One of the components of the food security program of the Russian Federation is to increase the yield of row crops. The factors influencing it are related to soil and climatic factors and technological processes of crop cultivation. Significant conditions for plant development are soil preparation. Soil treatment in modern conditions should solve a set of problems: to regulate water and air regimes of soil, to create conditions for seed incorporation of cultivated plants, to destroy weed vegetation, etc. One of the most important stages of cultivation of row crops is sowing and plant care operations. In the conditions of arid climate the most important is the availability of soil moisture. In this regard, the problem of improving the technology of inter-row tillage aimed at weed destruction with preservation of soil moisture is relevant.

Abstract

Introduction. Soil tillage remains the most important means influencing the yield of agricultural crops during their cultivation. In modern conditions it solves a complex of tasks: it regulates air and water regime of soil, creates conditions for seeds, nourishes plants, etc. Increase of crop yield is the main goal in solving most of the problems associated with the improvement of technological processes of cultivation of row crops and working bodies of agricultural machinery. **Object.** The object of research is the technology of inter-row cultivation of melon crops and working organs for its implementation. **Materials and methods.** One of the stages of dividing row crops is sowing and plant care operations. In conditions of an arid climate, soil moisture is most necessary. Land cultivation solves a set of problems related to the creation of optimal conditions for the growth and development of agricultural crops. It has a great influence on the conditions for plant development and the efficiency of fertilizer application. In this regard, the problem with the emergence of inter-row soil cultivation technology aimed at destroying weeds while preserving soil moisture is relevant. The solution to these problems will help to increase the yield of melons and melons and maintain the economic indicators of agricultural production. **Results and conclusions.** As a result of the studies, it was established that the development of plants in rows, between rows, changes in the changed consistently are ensured, due to the attraction of moisture, is faster than when processing the control plot.

Keywords: row crops, methods of tillage, soil moisture, tillage technologies.

Citation. Borodin V. I., Martynov I. S., Shaprov M. N., Sedov A. V., Sadovnikov M. A., Boyko S. Yu. The improvement of the inter-row cultivation technology of the row crops. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 557-567 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-62.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation, or analysis of this study. All authors of this article have read and presented the final version in a simplified form.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

УДК 631.316.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР

¹Бородин В. И., аспирант

¹Мартынов И. С., кандидат технических наук, доцент

¹Шапров М. Н., доктор технических наук, профессор

¹Седов А. В., кандидат технических наук, доцент

¹Садовников М. А., кандидат технических наук, доцент

²Бойко С. Ю., кандидат технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Камышинский технологический институт –

филиал ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

г. Камышин, Волгоградская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-03-2025-451.

Актуальность. Одной из составляющих программы продовольственной безопасности РФ является повышение урожайности пропашных культур. Влияющие на нее факторы связаны с почвенно-климатическими факторами и технологическими процессами возделывания культур. Значимые условия для развития растений – подготовка почвы. Обработка почвы должна решать комплекс задач: регулировать водный и воздушный режимы почвы, создавать условия для заделки семян культурных растений, уничтожать сорную растительность и т.д. Одним из важнейших этапов возделывания пропашных культур являются посев и операции по уходу за растениями. В условиях засушливого климата наиболее важным является наличие почвенной влаги. Исходя из этого проблема совершенствования технологии междурядной обработки почвы, направленная на уничтожение сорняков с сохранением почвенной влаги является актуальной. **Объект.** Объектом исследований являются технология междурядной обработки бахчевых культур и рабочие органы для ее осуществления. **Материалы и методы.** Одним из важнейших этапов возделывания пропашных культур являются посев и операции по уходу за растениями. Обработка почвы оказывает большое влияние на условия развития растений и урожайность культур. В условиях засушливого климата наиболее важным является наличие почвенной влаги. В связи с этим актуальной является проблема совершенствования технологии междурядной обработки почвы, направленная на уничтожение сорняков с сохранением почвенной влаги. Решение данной проблемы будет способствовать повышению урожайности пропашных культур. **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований выявлено, что развитие растений в рядах, междурядия которых обработаны усовершенствованными ра-

бочими органами, за счет подтягивания дополнительной влаги идет быстрее, чем при обработке контрольного участка. Эффективность применения данной технологии при междурядной обработке бахчевых культур выражается в показателях влажности по краям рядка, которая практически не меняется в течение 7 дней. Таким образом, применение рабочих органов пропашного культиватора позволяет создать необходимый воздушно-водный режим для питания корневой системы, а следовательно, для ускорения развития растений и получения ранней продукции бахчевых культур с повышенной урожайностью по сравнению с контрольным участком, обработанным полольными лапами.

Ключевые слова: пропашные культуры, способы обработки почвы, почвенная влага, технологии обработки почвы.

Цитирование. Бородин В. И., Мартынов И. С., Шапров М. Н., Седов А. В., Садовников М. А., Бойко С. Ю. Совершенствование технологии междурядной обработки пропашных культур. *Известия НВ АУК*. 2025. 3(81). 557-567. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-62.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Рассматривание проблемы обработки почвы как ключевого фактора урожайности сельскохозяйственных культур является необходимым шагом для понимания значимости данного исследования. Процесс обработки – это не просто механическое воздействие, а комплексный процесс, влияющий на множество факторов, определяющих успешность выращивания растений. Она регулирует водный баланс, обеспечивает оптимальный доступ кислорода к корням, создает благоприятные условия для прорастания семян, способствует равномерному распределению питательных веществ и, в конечном итоге, напрямую влияет на урожайность.

В современных условиях интенсивного земледелия постоянное совершенствование методов обработки почвы и используемых для этого инструментов является неотъемлемой частью повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Повышение урожайности пропашных культур – это сложная задача, решение которой требует комплексного подхода, включающего в себя не только улучшение агротехнических приемов, но и разработку и внедрение новых, более эффективных рабочих органов сельскохозяйственной техники. Многочисленные исследования, опубликованные в научной литературе [1-16], подтверждают актуальность данной проблематики и необходимость поиска новых решений для оптимизации технологических процессов.

Материалы и методы. Одним из важнейших этапов возделывания пропашных культур являются операции по посеву и уходу за растениями. При засушливых условиях наиболее важным для развития растений является наличие почвенной влаги [1-4, 12, 13].

При обработке пропашных культур соблюдаются требования [2, 3, 8, 10], учитывающие сроки и глубину обработки, уничтожение сорной растительности, величину защитной зоны, травмирование культурных растений и др. Причем, выполняя технологические операции, следует обращать внимание на фазы развития сорных и культурных растений, грамотно комбинировать рабочие органы пропашного культиватора для повышения эффективности его работы. Кроме того, уничтожение сорной растительности на ранних стадиях их развития благоприятно сказывается на качестве механической обработки.

При этом виде обработки рабочие органы воздействуют на почву путем «рыхления, подрезания сорных растений, разрушения гребня почвы или без воздействия на него» [2, 3, 8, 9-11].

Кроме механизированного способа ухода за посевами пропашных культур можно выделить химический, термический (огневой) и электрический (рисунок 1).

«Химический метод за счет использования селективных гербицидов позволяет уничтожить до 80 % однолетних сорняков» [17]. Для уничтожения многолетних и корнеотпрысковых сорняков эффективнее всего проводить механизированную обработку пропашными культиваторами.

«Гербицидами избирательного действия обрабатывают всю поверхность поля, включая культурные и сорные растения.

Анализ химического способа показывает, что период действия гербицидов, как правило, не превышает 18...20 дней, а при наличии осадков сроки сокращаются. После этого сорняки начинают расти, негативно воздействуя на культурные растения» [18].

Термический метод (рисунок 2) удаления сорняков является одним из самых эффективных и безопасных. Он основывается на применении высоких температур, что, в отличие от того же химического метода, не вредит почве. Данный метод один из самых перспективных на сегодняшний день.

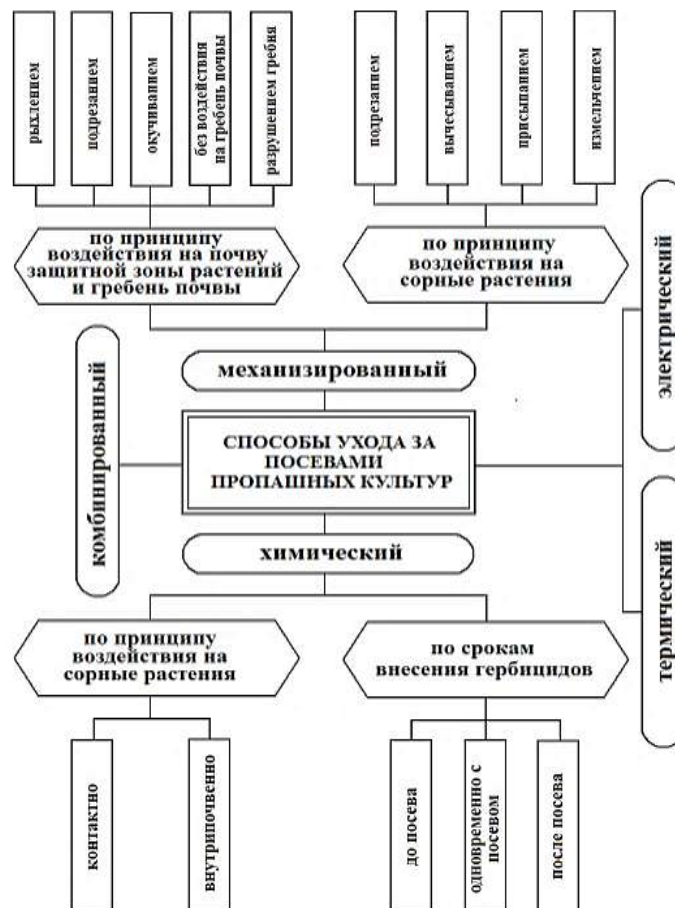


Рисунок 1 – Способы ухода за посевами.
Figure 1 – Methods of crop care



Рисунок 2 – Термическая обработка почвы
Figure 2 – Thermal tillage

Термическая обработка может осуществляться разными способами, а именно, путем инфракрасного облучения, использованием пара, применением тепловых насосов и др. [6,19]. Такая обработка дозированно воздействует на почву высокой температурой, что позволяет изменять структуру грунта и эффективно очищать от вредителей и сорной растительности.

Обработка паром (рисунок 3) обладает рядом преимуществ. «После такого воздействия плодородие почвы восстанавливается, а сама операция обладает высокой экологичностью. Пропаривание грунта в течение 0,5...1 ч при 100 °С температуре в обрабатываемом слое почвы уничтожает вредителей. Однако при длительном воздействии пара в почве погибают все микроорганизмы (полезные и вредные), повышается ее соленасыщенность, что вредно отражается на развитии растений. Кроме того, разрушаются коллоиды, уменьшается капиллярность и влагоемкость почвы. Также при длительном воздействии высоких температур в почве образуются вредные продукты с токсичными свойствами в течение длительного времени» [6, 15].

Следует отметить, что применение паровой обработки сопровождается высокими энергозатратами и необходимостью использования спецустановок.

Инфракрасное излучение используют для точечной обработки. Применяя данный метод, вы фокусируете тепло только на определенных участках почвы либо растениях, уничтожая тем самым их семена и корни.



Рисунок 3 – Обработка паром
Figure 3 – Steam treatment

Следует отметить, что при всех своих преимуществах данный метод не обделён и недостатками. Одним из самых основных недостатков является высокая стоимость оборудования, поэтому оно применяется в основном на крупных предприятиях. Также данный метод требует определённых знаний и опыта работы с данным оборудованием.

Термические методы в основном находят применение в городском садоводстве и озеленении. Это способствует поддержанию чистоты и красоты в городах без применения химических средств.

Из многих способов обработки почвы, применяется и метод обработки с помощью электрического тока [20]. Этот метод экологически безопасен, обладает высокой эффективностью уничтожения вредителей, болезней растений и сорной растительности. Однако для междурядной обработки культур он не подходит.

Проведя анализ различных методов обработки, мы можем заключить, что наиболее актуальными являются механизированные методы с применением пропашных культиваторов [2, 4, 9-11]. Особенно это касается бахчевых культур, т.к. химическим способом обработку проводить нельзя, а термическим – дорого и неэффективно.

Учитывая все плюсы и минусы обработки междурядий бахчевых культур, включая и защитные зоны культурных растений, разработали и протестировали рабочие органы для культиватора. Рабочие органы (рисунок 4) состоят из стойки, одностороннего плоскорежущего лезвия с вертикальной щекой и уплотняющим наральником [4].

К стойке 1 бритвы прикреплено одностороннее плоскорежущее лезвие 2 с вертикальной щекой 3, предохраняющей растения от засыпания почвой, в нижней части которой уплотняющий наральник 4.

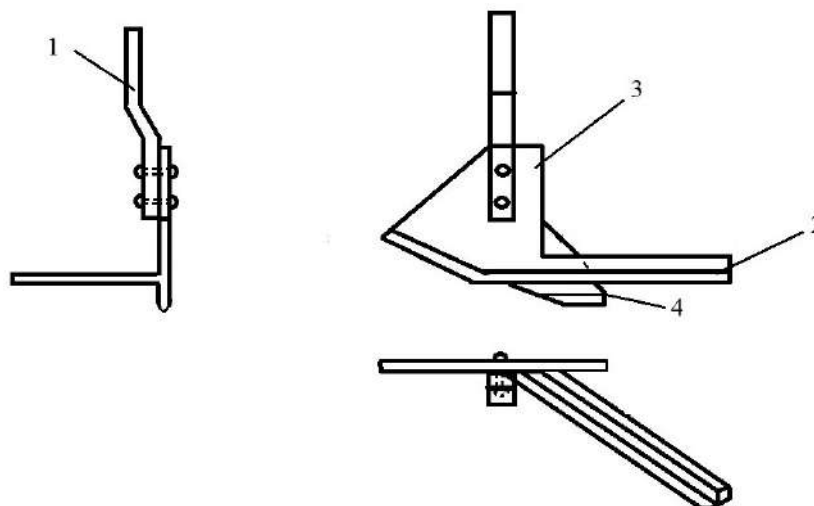


Рисунок 4 – Рабочий орган
Figure 4 – Working body

При обработке междурядий (рисунок 5) лапы движутся в верхнем слое почвы, подрезая сорные растения, а вертикальная щека предотвращает повреждение культурных растений. Подрезанные сорняки и верхний слой почвы перемещаются по лезвию, после чего наральник уплотняет почву, сохраняя влагу и создавая благоприятные условия для роста растений. Такая конструкция рабочих органов позволяет минимизировать повреждение культурных растений, одновременно эффективно уничтожая сорняки и улучшая структуру почвы. Более того, благодаря уплотнению почвы после рыхления, данная технология способствует лучшему удержанию влаги [4].

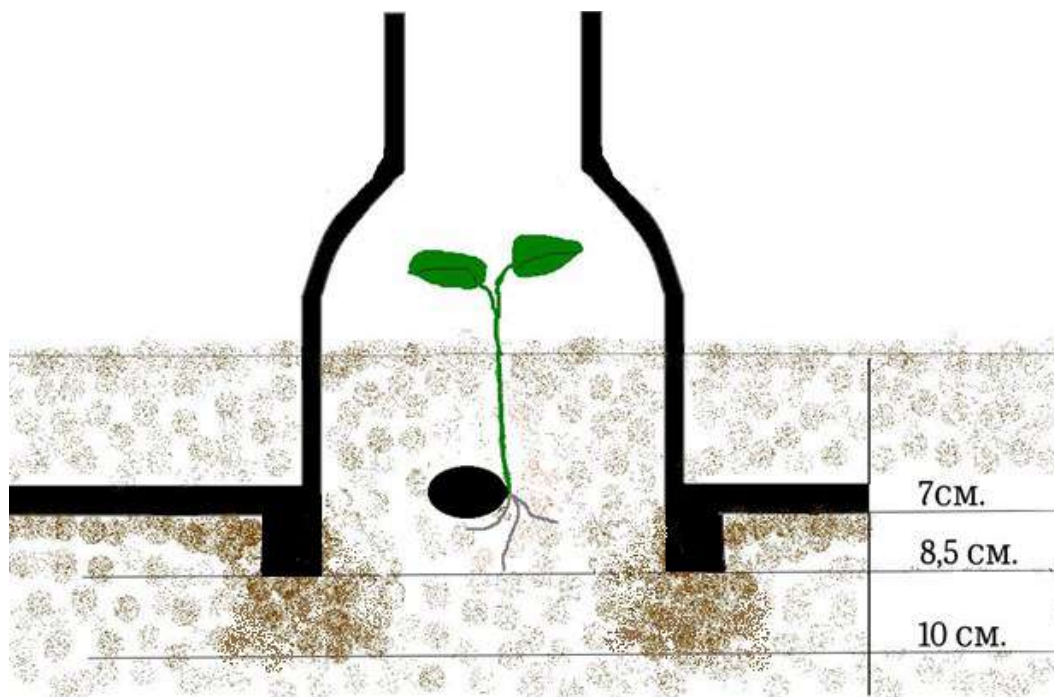


Рисунок 5 – Схема уплотнения почвы
Figure 5 – Soil compaction scheme

Результаты и обсуждения. Исследования лап проводилось на опытном поле Волгоградского ГАУ. При их проведении оценивались влажность почвы и размеры корневой системы бахчевых культур. Исследование влияния обработки междурядий на влажность почвы в корнеобитаемом слое бахчевых культур проводилось путём отбора образцов почвы. Цель исследования заключалась в сравнении эффективности нового (улучшенного) рабочего органа культиватора со стандартным. В процессе эксперимента измерялось процентное содержание влаги в почве через различные промежутки времени после обработки междурядий. Полученные данные анализировались в зависимости от количества дней, прошедших после обработки, чтобы определить, какой из рабочих органов (новый или стандартный) лучше сохраняет влагу в почве, важной для корневой системы бахчевых культур.



Рисунок 6 – Рабочий орган
Figure 6 – Working body

На графике (рисунок 7) мы отчетливо видим, как различается процентное соотношение влажности при использовании двух рабочих органов.

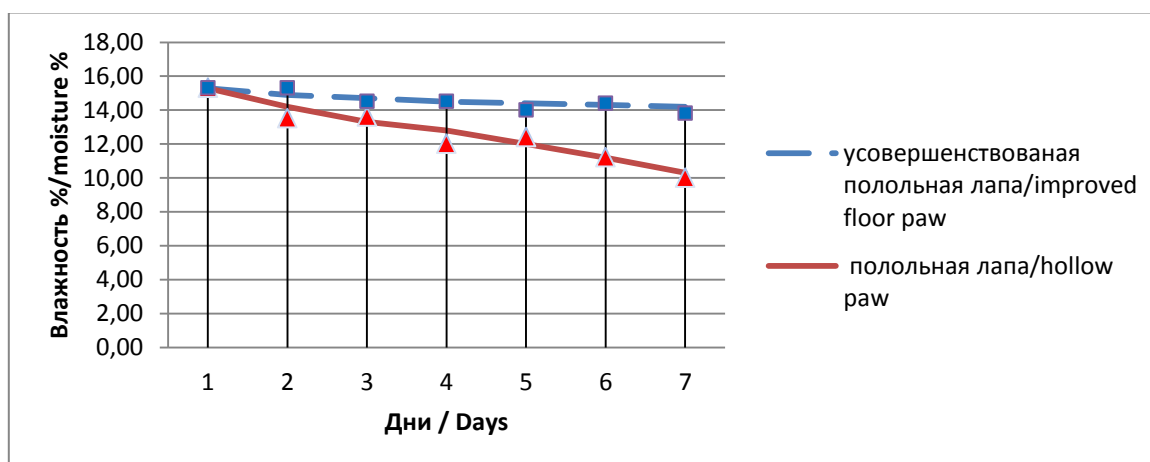


Рисунок 7 – Изменение влажности почвы после обработки
Figure 7 – Soil moisture after processing

На участке, обработанном усовершенствованным рабочим органом влажность почвы по краям ряда, практически не меняется в течение 7 дней. Но на участке, обработанном стандартной полольной лапой, влажность снизилась на 5 % в течение недели. Изменение влажности описывается уравнением $y = -0,008x + 0,1591$ (стандартный рабочий орган) и $y = -0,006\ln(x) + 0,153$, (усовершенствованный рабочий орган).

Кроме влажности почвы проведены замеры длины корней в зависимости от пройденных дней (рисунок 8). На графике видна разница в развитии корней по ширине. При этом зависимости описаны уравнениями $y = 0,9978x + 1,6306$, (стандартный рабочий орган) и $y = 3,75x - 4,1429$, (усовершенствованный рабочий орган). Изменение размеров вертикальной корневой системы (рисунок 9) выражено уравнениями $y = 3,0371x + 2,0867$, (усовершенствованный рабочий орган) и $y = 2,6429x + 1,6667$, (стандартный рабочий орган).

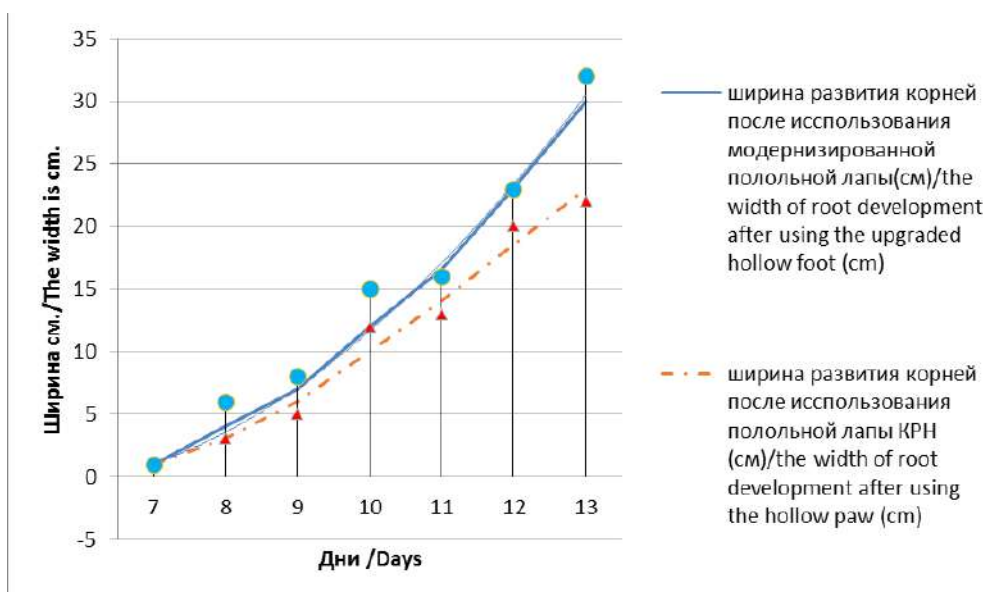


Рисунок 8 – Развитие корневой системы по ширине
Figure 8 – Root system development in width

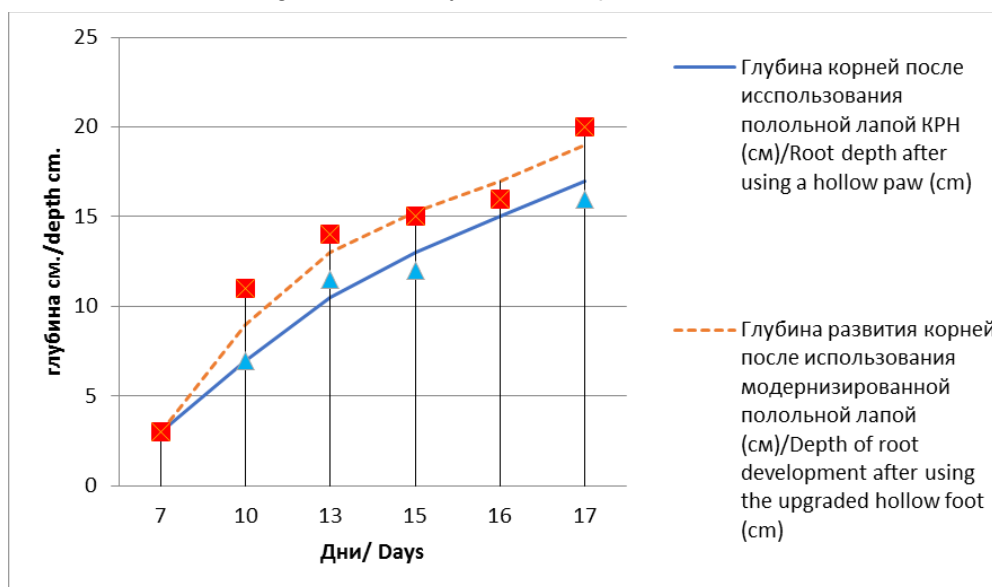


Рисунок 9 – Длина корневой системы
Figure 9 – Root system length

Эксперименты (рисунки 10 и 11) показали, что усовершенствованная полольная лапа для обработки междурядий способствует более интенсивному росту растений по сравнению с контрольной группой. В частности, на участке, обработанном новой лапой, плети

арбузов оказались длиннее на 5080 см, а плодоношение сорта "Триумф" началось на 7...10 дней раньше. Это свидетельствует о значительном повышении эффективности роста и созревания арбузов при использовании усовершенствованной технологии обработки междурядий.



а)



б)

Рисунок 10 – Развитие растений через 8 дней после обработки:
а) участок, обработанный усовершенствованной полольной лапой;
б) контрольный участок.

Figure 10 – Plant development 8 days after treatment:
а) Area treated with an improved working body; б) control area



а)



б)

Рисунок 11 – Развитие растений через 31 день после обработки:
а) участок, обработанный усовершенствованной полольной лапой;
б) контрольный участок

Figure 11 – Plant development 31 days after treatment:
а) Area treated with an improved working body; б) control area

Выводы. На основе проведенного анализа способов обработки почвы выявлено, что наиболее эффективными и безопасными для растений критериями обладает механизированный способ. Предлагаемая конструкция полольных лап позволяет образовывать капилляры в зоне уплотнения, тем самым повышая влагоемкость обрабатываемого слоя.

Эффективность применения данной технологии при междурядной обработке бахчевых культур выражается в показателях влажности по краям рядка, которая практически не меняется в течение 7 дней.

Таким образом, применение усовершенствованных рабочих органов пропашного культиватора позволяют создать необходимый воздушно-водный режим для питания корневой системы, а следовательно, для ускорения развития растений и получения ранней продукции бахчевых культур с повышенной урожайностью по сравнению с контрольным участком, обработанным полольными лапами.

Conclusions. Based on the analysis of tillage methods, it was revealed that the mechanized method has the most effective and safe criteria for plants. The proposed design of weeding tines allows the formation of capillaries in the sealing zone, thereby increasing the moisture capacity of the treated layer.

The effectiveness of this technology in inter-row cultivation of melons and gourds is expressed in the moisture levels at the edges of the row, which practically does not change for 7 days.

Thus, the use of improved working bodies of the row cultivator makes it possible to create the necessary air-water regime for nourishing the root system, and, consequently, for accelerating the development of plants and obtaining early production of melons and gourds with increased yields in comparison with the control area treated with weeding feet.

Библиографический список

1. Алдошин Н. В., Маматов Ф. М., Исмаилов И. И. Средства механизации для обработки почвы в бахчеводстве. Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С. 12-15.
2. Руденко Н. Е. и др. Ресурсосберегающий пропашной культиватор. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 4. С. 31-37.
3. Мартынов И. С., Шапров М. Н., Бородин В. И. Рабочий орган для междурядной обработки почвы. Сельский механизатор. 2022. № 10. С. 8.
4. Мартынов И. С., Шапров М. Н., Гузенко Е. Ю., Иванова Т. С. Механизация предпосевной обработки почвы при возделывании бахчевых культур. Вестник аграрной науки Дона. 2023. Т. 16. № 3 (62). С. 38-47.
5. Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Бычков М. В., Жалнин А. А. Оптимизация параметров рабочих органов культиваторов. ТЕСНика. 2020. № 1. С. 34-37.
6. Поварь А. А., Мяло В. В. Недостатки и сравнительный анализ орудий для поверхностной обработки почвы. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 242-248.
7. Федоров С. Е. и др. Повышение качества поверхностной обработки почвы. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 4. С. 121-127.
8. Романовский Н. В., Захаров А. М. Способ повышения эффективности междурядной обработки овощных культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 311-319.
9. Цепляев В. А. Машина для вычесывания сорняков: эффективность обработки посевов бахчевых. Агроинженерия. 2024. Т. 26. № 2. С. 42-48.
10. Шилов С. А., Шилов А. Н., Фадеев А. А. Кинематические параметры рабочего органа с изменяемой глубиной обработки почвы по ширине междурядья. Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 3. С. 130-134.
11. Matasov A. N. et al. Analytical Determination of Technological Parameters in the Work of a Self-driving Machine for Soil Loosening and Weeds Removing. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. V. 206. Pp. 1079-1085.
12. Elliott J. et al. Characterizing agricultural impacts of recent large-scale US droughts and changing technology and management. Agricultural Systems. 2018. V. 159. Pp. 275-281.
13. Shaprov M. N. et al. Melons and gourds sowing quality improving in conditions of risky farming. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 965 (1). P. 012052.
14. Murmu K., Thakur T. C. Design and development of combined conservation Tillage machine with chiselers and clod pulverizing roller. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. № 50 (1). Pp. 66-72.
15. Nasiyev B. et al. Physicochemical and biological indicators of soils in an organic farming system. The Scientific World Journal. 2021. V. 2021. Pp. 957-977.
16. Coleman G.R.Y. et al. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and cite-specific weed control. Weed Technology. 2019. V. 33. Issue 4. Pp. 633-650.
17. Червяков А. Ю. и др. Эффективность системного применения гербицидов в посевах кукурузы при ресурсосберегающей обработке почвы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (185). С. 75-80.
18. Курдюмов В. И. и др. Анализ способов ухода за посевами пропашных культур. Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. 2020. С. 346-351.
19. Воложанинов С. С., Алдошин Н. В., Завалий А. А., Волобуев Д. Д. Экспериментальное исследование температурного поля в слое почвы при нагреве сверхвысокочастотным излучением. Агроинженерия. 2024. Т. 26. № 6. С. 28-35.
20. Топорков В. Н., Королев В. А., Башилов А. М. Электроимпульсные технологии в сельском хозяйстве. Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2. С. 50-54.

References

1. Aldoshin N. V., Mamatov F. M., Ismailov I. I. Means of Mechanization for Soil Cultivation in Melon Growing. Machinery and equipment for the village. 2021. № 2 (284). Pp. 12-15.
2. Rudenko N. E. et al. Resource-saving row cultivator. Agricultural Machinery and Technologies. 2017. № 4. Pp. 31-37.

3. Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. Working body for inter-row tillage. Rural machine operator. 2022. № 10. P. 8.
4. Martynov I. S., Shaprov M. N., Guzenko E. Yu., Ivanova T. S. Mechanization of pre-sowing tillage in the cultivation of melons. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2023. T. 16. № 3 (62). Pp. 38-47.
5. Chatkin M. N., Fedorov S. E., Bychkov M. V., Zhalnin A. A. Optimization of Parameters of Cultivator Working Bodies. TESNika. 2020. № 1. Pp. 34-37.
6. Povar A. A., Myalo V. V. Deficiencies and Comparative Analysis of Tools for Surface Tillage. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2016. № 1. Pp. 242-248.
7. Fedorov S. E. et al. Improving the quality of surface tillage. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2020. № 4. Pp. 121-127.
8. Romanovsky N. V., Zakharov A. M. Method for Improving the Efficiency of Inter-Row Processing of Vegetable Crops. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 4 (56). Pp. 311-319.
9. Tseplyaev V. A. Machine for combing weeds: the effectiveness of processing melons and gourds. Agricultural engineering. 2024. V. 26. № 2. Pp. 42-48.
10. Shilov S. A., Shilov A. N., Fadeev A. A. Kinematic Parameters of a Working Tool with a Variable Depth of Tillage by the Width of the Row Spacing. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2022. V. 16. № 3. Pp. 130-134.
11. Matasov A. N. et al. Analytical Determination of Technological Parameters in the Work of a Self-driving Machine for Soil Loosening and Weeds Removing. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. V. 206. Pp. 1079-1085.
12. Elliott J. et al. Characterizing agricultural impacts of recent large-scale US droughts and changing technology and management. Agricultural Systems. 2018. V. 159. Pp. 275-281.
13. Shaprov M. N. et al. Melons and gourds sowing quality improving in conditions of risky farming. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 965 (1). P. 012052.
14. Murmu K., Thakur T. C. Design and development of combined conservation Tillage machine with chiselers and clod pulverizing roller. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. № 50 (1). Pp. 66-72.
15. Nasiyev B. et al. Physicochemical and biological indicators of soils in an organic farming system. The Scientific World Journal. 2021. V. 2021. Pp. 957-977.
16. Coleman G.R.Y. et al. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control. Weed Technology. 2019. V. 33. I. 4. Pp. 633-650.
17. Chervyakov A. Y. et al. Efficacy of systemic application of herbicides in corn crops with resource-saving tillage. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2020. № 3 (185). Pp. 75-80.
18. Kurdyumov V. I. et al. Analysis of methods for caring for row crops. Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them. 2020. Pp. 346-351.
19. Volozhaninov S. S., Aldoshin N. V., Zavaliy A. A., Volobuev D. D. Experimental Study of the Temperature Field in the Soil Layer under Heating by Ultra-High Frequency Radiation. Agricultural engineering. 2024. V. 26. № 6. Pp. 28-35.
20. Toporkov V. N., Korolev V. A., Bashilov A. M. Electropulse Technologies in Agriculture. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2019. № 2. Pp. 50-54.

Информация об авторах

Бородин Виталий Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0009-0001-0005-475X, e-mail: megavitas.borodin@yandex.ru

Мартынов Иван Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ISMartynov@mail.ru

Шапров Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru

Седов Алексей Васильевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-3896-5129, e-mail: sedov7020@yandex.ru

Садовников Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0001-9223-854X, e-mail: mic-ha-el@yandex.ru

Бойко Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 403874, Волгоградская область, г. Камышин, ул. Ленина, 6а), e-mail: ttp@kti.ru

Authors' Information

Borodin Vitaly Igorevich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0009-0001-0005-475X. E-mail: megavitas.borodin@yandex.ru

Martynov Ivan Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ISMartynov@mail.ru

Shaprov Mikhail Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru

Sedov Aleksey Vasilievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0002-3896-5129, e-mail: sedov7020@yandex.ru

Sadovnikov Mikhail Alekseyevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0001-9223-854X, e-mail: mic-ha-el@yandex.ru

Boyko Sergey Yuryevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Kamyshev Institute of Technology (branch), Volgograd State Technical University (Russian Federation, 403874, Volgograd Region, Kamyshev, Lenin Street, 6a), e-mail: ttp@kti.ru

**THE BIODEGRADABLE MATERIAL PRODUCTION BASED ON THE STARCH WITH
THE INCLUSION OF THE FOOD PRODUCTION WASTE (FRUIT STONE SHELLS)****Kartushina Yu. N., Khramova V. N., Gosteva A. L.***Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kartysina@rambler.ru

Received 03.04.2025

Submitted 19.05.2025

Research conducted under a grant from the Administration of the Volgograd Region (Agreement No. 2, December 12, 2024) with Volgograd State Technical University for the scientific and technical project "Development and Application of New Food and Feed Additives Based on Corn Starch Products".

Summary

The study developed a biodegradable material based on starch and fruit stone shells (hazard class V waste), aiming to create an eco-friendly alternative to conventional plastics and mitigate their environmental impact. The optimized composition includes starch (11.88 %), water (45.61 %), citric acid (0.42 %), glycerol (7.25 %), gelatin (0.15 %), and filler (34.69 %). Incorporating 2.3 % gelatin during the pressing process enhanced the material's strength to 13.38 MPa, surpassing existing analogues by 59.4 %. The integration of fruit stone shells not only improved mechanical properties but also reduced production costs, aligning with circular economy principles. This innovation highlights the potential for large-scale adoption in manufacturing environmentally sustainable products.

Abstract

Introduction. This study presents the results of developing a biodegradable material based on starch using fruit stone shells as a filler. The optimal composition of the material was determined: starch (11.88 %), water (45.61 %), citric acid (0.42 %), glycerol (7.25 %), gelatin (0.15 %), and filler (34.69 %). The pressing method with 2.3 % gelatin addition achieved maximum product strength of 13.38 MPa, surpassing rolled analogues by 59.4 %. The material fully dissolves in water within 45-112 minutes depending on the forming method, confirming its biodegradability. Experimental results demonstrate that the use of fruit stone shells (hazard class V waste) improves mechanical properties and reduces production costs. The study highlights the potential to mitigate environmental impact by replacing conventional plastic tableware and utilizing biological waste from food production. **Relevance.** Environmental pollution caused by single-use plastic tableware and packaging waste remains a critical issue for regional and global ecological security. In the Russian Federation, polyethylene- and polystyrene-based disposable tableware is widely used in the food industry, with decomposition periods spanning centuries, posing long-term ecological threats. Simultaneously, significant amounts of waste, including fruit stones, are generated during fruit processing and canning. Due to their composition, these wastes hold high potential as renewable raw materials. Thus, developing a starch-based biodegradable material incorporating fruit stone shells addresses two challenges: reducing petroleum-based polymer use and efficiently recycling food production waste. The study's relevance lies in creating an eco-friendly alternative to traditional plastics aligned with circular economy and sustainable development principles. **Object.** A biodegradable starch-based material using fruit stone shells as a filler. **Materials and methods.** Components: starch (11.88 %), water (45.61 %), glycerol (7.25 %), citric acid (0.42 %), and crushed fruit stone shells (34.69 %). The process involved gelatinization, molding, and drying. **Results and conclusions.** The optimal filler ratio was 43.68 % to the gelatinized base. Adding 2.3 % gelatin increased strength to 13.38 MPa. Complete dissolution time in water was 17 minutes. The developed material is competitive in strength and eco-friendliness.

Keywords: biodegradable materials, processing of food production waste, food production waste, waste disposal.

Citation. Kartushina Yu. N., Khramova V. N., Gosteva A. L. The biodegradable material production based on the starch with the inclusion of the food production waste (fruit stone shells). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 3(81). 568-578 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-63.

Author Contribution. All authors were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All authors reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of Interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 504

**ПОЛУЧЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМОГО МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА С ВКЛЮЧЕНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ
ПРОДУКТОВ (СКОРЛУПЫ ПЛОДОВЫХ КОСТОЧЕК)**

Картушина Ю. Н., кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Храмова В. Н., доктор биологических наук, профессор
Гостева А. Л., соискатель

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках гранта администрации Волгоградской области по Соглашению №2 от 12.12.2024 г. с ВолгГТУ по научно-техническому проекту «Разработка и использование новых пищевых и кормовых добавок на основе кукурузных крахмалопродуктов».

Аннотация. В работе представлены результаты разработки биоразлагаемого материала на основе крахмала с использованием скорлупы плодовых косточек в качестве наполнителя. Определен оптимальный состав полученного материала: крахмал (11,88 %), вода (45,61 %), лимонная кислота (0,42 %), глицерин (7,25 %), желатин (0,15 %), наполнитель (34,69 %). Использованный метод прессования с добавлением 2,3 % желатина обеспечил максимальную прочность изделий – 13,38 МПа, что на 59,4 % превышает показатели аналогов, полученных методом раскатки. Установлено, что полученный материал полностью растворяется в воде за 45-112 минут в зависимости от метода формования, что подтверждает его биоразлагаемость. Экспериментально доказано, что использование скорлупы плодовых косточек (отход V класса опасности) улучшает механические свойства материала и снижает себестоимость производства. Исследование демонстрирует потенциал сокращения экологической нагрузки за счет замены традиционной пластиковой посуды и утилизации биологических отходов производства пищевых продуктов.

Актуальность. Проблема загрязнения окружающей среды отходами, образующимися в результате использования одноразовой пластиковой посуды и упаковки, остается критической в контексте региональной и глобальной экологической безопасности. В Российской Федерации одноразовая посуда на основе полиэтилена и полистирола широко применяется в пищевой индустрии, при этом срок её разложения достигает нескольких сотен лет, создавая долгосрочные экологические угрозы. Одновременно при переработке и консервировании фруктов образуется значительное количество отходов, в том числе плодовые косточки. За счет своего состава данные отходы обладают высоким потенциалом в качестве источников возобновляемого сырья. Соответственно, разработка биоразлагаемого материала на основе крахмала с включением скорлупы плодовых косточек позволит решить две задачи: сокращение использования нефтяных полимеров и эффективная переработка отходов производства пищевых продуктов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания экологически безопасной альтернативы традиционной пластиковой посуде, соответствующей принципам циркулярной экономики и устойчивого развития. **Объект исследования.** Биоразлагаемый материал на основе крахмала с использованием скорлупы плодовых косточек в качестве наполнителя. **Материалы и методы.** Использованы: крахмал (11,88 %), вода (45,61 %), глицерин (7,25 %), лимонная кислота (0,42 %), измельченная скорлупа плодовых косточек (34,69 %). Процесс включал клейстеризацию, формовку и сушку. **Результаты и выводы.** Оптимальное соотношение наполнителя – 43,68 % к клейстерной основе. Добавление 2,3 % желатина повысило прочность до 13,38 МПа. Время полного растворения в воде – 17 минут. Разработанный материал конкурентоспособен по прочности и экологичности.

Ключевые слова: биоразлагаемые материалы, переработка отходов пищевых производств, отходы пищевых производств, утилизация отходов.

Цитирование. Картушина Ю. Н., Храмова В. Н., Гостева А. Л. Получение биоразлагаемого материала на основе крахмала с включением отходов производства пищевых продуктов (скорлупы плодовых косточек). *Известия НВ АУК.* 2025. 3(81). 568-578. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-63.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В условиях глобального экономического роста и интенсификации промышленного производства вопросы экологической безопасности, ресурсосбережения и энергоэффективности приобретают первостепенное значение. Одной из наиболее актуальных проблем на сегодняшний день является загрязнение окружающей среды полимерными отходами, которые в силу своей устойчивости к биодegradации накапливаются в экосистемах, вызывая долгосрочные негативные последствия. По данным ООН, ежегодно в

мировой океан попадает около 8 млн тонн пластика, что угрожает морским экосистемам и здоровью человека через пищевые цепи [1]. Традиционные полимеры, такие как полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП), сохраняются в окружающей среде до 600 лет, образуя микропластик, который обнаруживается даже в отдаленных регионах Антарктиды [2]. В Российской Федерации, согласно отчетам Минприроды, доля пластика в твердых коммунальных отходах превышает 15 %, а уровень переработки не достигает 10 %, что усугубляет проблему захоронения на полигонах [3]. Эти данные подчеркивают необходимость перехода к альтернативным материалам, способным к биodeградации.

В ответ на экологические вызовы активно разрабатываются биоразлагаемые полимеры, такие как полимолочная кислота (PLA), полигидроксиалканоаты (PHA) и крахмало-содержащие композиты [4, 5]. Крахмал, как возобновляемый ресурс, привлекает внимание благодаря низкой себестоимости и доступности. Крахмальные пленки с добавлением 20% целлюлозных волокон обладают прочностью до 8 МПа, но их гидрофобность остается недостаточной для упаковочных применений [6].

Отходы производства пищевых продуктов, такие как скорлупа орехов, шелуха злаков и косточки плодов, рассматриваются как перспективное сырье для создания композитов. Их применение решает две задачи: снижение нагрузки на полигоны захоронения отходов и удешевление производства материалов различного назначения. Например, исследования показывают, что добавление 30 % рисовой шелухи в PLA повышает прочность на изгиб на 25 % за счет армирования целлюлозными волокнами [8].

Особый интерес представляют отходы плодовых косточек, которые составляют до 20 % массы перерабатываемого сырья. Скорлупа абрикосовых косточек содержит до 45 % лигнина, что делает её эффективным наполнителем для улучшения термостойкости материалов [9]. Однако ключевой задачей остается оптимизация адгезии между наполнителем и полимерной матрицей, что требует модификации поверхности частиц или введения пластификаторов.

Предлагаемая работа фокусируется на разработке биоразлагаемого материала на основе крахмала и скорлупы плодовых косточек с использованием доступных отходов производства пищевых продуктов. В данной работе акцент сделан на:

1. Оптимизацию состава, за счет включения глицерина и желатина для улучшения эластичности и гидрофобности.

2. Использование отходов V класса опасности (плодовые косточки), что снижает себестоимость и способствует циркулярной экономике.

3. Сравнение методов формовки для минимизации дефектов структуры.

Этот подход позволяет создать конкурентоспособный материал, сочетающий экологичность, низкую стоимость и достаточные механические свойства для применения в пищевой промышленности.

Материалы и методы. Для разработки биоразлагаемого материала на основе крахмала с использованием отходов производства пищевых продуктов был подобран следующий состав смеси:

Крахмал (11,88 %): основной компонент, обеспечивающий формирование клейстерной основы. Крахмал является природным полимером, который при нагревании в присутствии воды образует вязкую массу, способную к формованию. Крахмал кукурузный был выбран благодаря его доступности, низкой стоимости и способности к биоразложению.

Вода (45,61 %): используется для клейстеризации крахмала. Вода играет ключевую роль в процессе гелеобразования, обеспечивая необходимую пластичность смеси. Количество воды было подобрано экспериментально для достижения оптимальной вязкости.

Лимонная кислота (0,42 %): добавка, регулирующая pH среды и способствующая стабилизации крахмального клейстера. Лимонная кислота также предотвращает преждевременное разложение материала и улучшает его устойчивость к микробиологическому воздействию.

Глицерин (7,25 %): пластификатор, улучшающий эластичность и гибкость материала. Глицерин снижает хрупкость и повышает устойчивость к механическим воздействиям, что особенно важно для материалов, используемых в упаковке и посуде.

Желатин (0,15 %): добавка, повышающая гидрофобность и прочность материала. Желатин также способствует улучшению адгезии компонентов смеси, что положительно влияет на однородность материала.

Измельченная скорлупа плодовых косточек (34,69 %): наполнитель, придающий материалу дополнительную прочность и улучшающий его биоразлагаемость. Скорлупа плодовых косточек содержит лигнин и диоксид кремния, что делает ее подходящим ар-

мирующим компонентом. Использование отходов производства пищевых продуктов позволяет решить проблему их утилизации и снизить себестоимость получаемого материала [10, 11].

Методика эксперимента. Приготовление крахмального клейстера начинается с создания водяной бани: в емкость наливается вода, нагревается до 95 °С, после чего в нее помещается эмалированная емкость для равномерного нагрева смеси и предотвращения пригорания. Затем последовательно добавляются крахмал, вода, глицерин и лимонная кислота. Компоненты тщательно перемешиваются до однородности при постоянной температуре, далее смесь нагревается до 95 °С при непрерывном перемешивании в течение 15 минут для завершения клейстеризации. Этот процесс обеспечивает образование вязкой массы с высокой пластичностью. После охлаждения смеси до 50-60 °С в нее вводится измельченная скорлупа плодовых косточек, которая перемешивается до равномерного распределения, улучшая физико-механические характеристики материала. Далее смесь формуется: раскатывается прижимным валом в тонкие гибкие листы для последующего вырезания заготовок или прессуется под давлением в пресс-форме при 60-70 °С для создания плотных и прочных образцов. На завершающем этапе заготовки сушатся в конвекционном шкафу при 65 °С в течение 3 часов. В результате удаляется избыточная влага, обеспечивая изделиям окончательную прочность, стабильность и оптимальную влажность, что критически важно для его дальнейшего использования.

Методы анализа. Для оценки механической прочности полученного материала использовался силоизмерительный датчик. Образцы подвергались нагрузке, и показания датчика фиксировались в кН, после чего пересчитывались в МПа по формуле:

$$1\text{кН} / \text{мм}^2 = 1000\text{МПа} \quad (1)$$

Прочность материала определялась как максимальное напряжение, которое образец может выдержать до разрушения.

Влажность образцов определялась с помощью сушильного шкафа. Образцы взвешивались до и после сушки при температуре 100 °С в течение 40 минут. Относительная влажность рассчитывалась по формуле:

$$X = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

где M_1 – масса образца до сушки, M_2 – масса образца после сушки.

Влажность является важным параметром, так как она влияет на стабильность и долговечность материала.

Для определения растворимости образцы помещались в воду температурой 20 °С и 80 °С. Время начала и полного растворения фиксировалось визуально. Это позволило оценить устойчивость материала к воздействию воды и его биоразлагаемость. Растворимость является ключевым параметром для биоразлагаемых материалов, так как она определяет скорость их разложения в природных условиях.

Результаты. В ходе эксперимента было установлено, что оптимальное соотношение компонентов для получения биоразлагаемого материала составляет 43,68 % наполнителя к клейстерной основе и 34,69 % к исходному объему смеси. Добавление желатина в количестве 2,3 % повысило прочность материала и улучшило его гидрофобные свойства.

При добавлении наполнителя в количестве 26,4 % к исходному объему смеси количество трещин сократилось, трещины образовались на 2/4 образцах (рисунок 1).

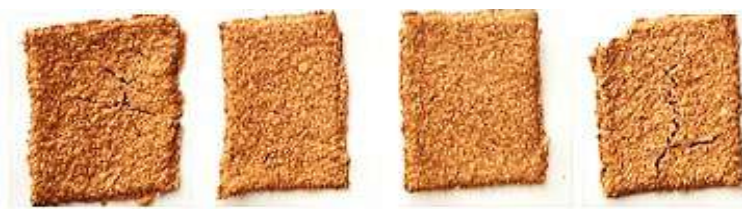


Рисунок 1 – Образцы с содержанием наполнителя в количестве 26,4 %
Figure 1 – Samples with 26.4 % filler content

При добавлении наполнителя в количестве 29,27 % к исходному объему смеси, трещины на образцах стали меньше, однако количество образцов с трещинами составило $\frac{3}{4}$ (рисунок 2).

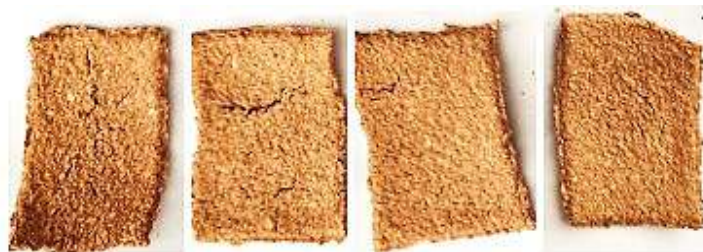


Рисунок 2 – Образцы с содержанием наполнителя в количестве 29,27 %
Figure 2 – Samples with 29.27 % filler content

При добавлении наполнителя в количестве 31,92 % к исходному объему смеси количество трещин сократилось, их размер уменьшился, количество образцов с трещинами составило $\frac{1}{4}$ (рисунок 3).



Рисунок 3 – Образцы с содержанием наполнителя в количестве 31,92 %
Figure 3 – Samples with 31.92% filler content

При добавлении наполнителя в количестве 34,69 % к исходному объему смеси трещин не образовалось (рисунок 4)



Рисунок 4 – Образцы с содержанием наполнителя в количестве 34,69 %
Figure 4 – Samples with 34.69% filler content

Как видно из эксперимента, увеличение доли наполнителя до 34,69 % позволило полностью устранить трещины и повысить прочность материала. Это связано с тем, что скорлупа плодовых косточек действует как армирующий компонент, улучшая механические свойства материала.

Сравнение методов формования показало, что прессование позволяет получить более прочные и устойчивые к механическим воздействиям образцы по сравнению с раскаткой прижимным валом. Добавление желатина дополнительно улучшило свойства материала.

Механическая прочность образцов была определена с помощью силоизмерительного датчика. На рисунках 5-8 представлены графики зависимости прочности от глубины надавливания.

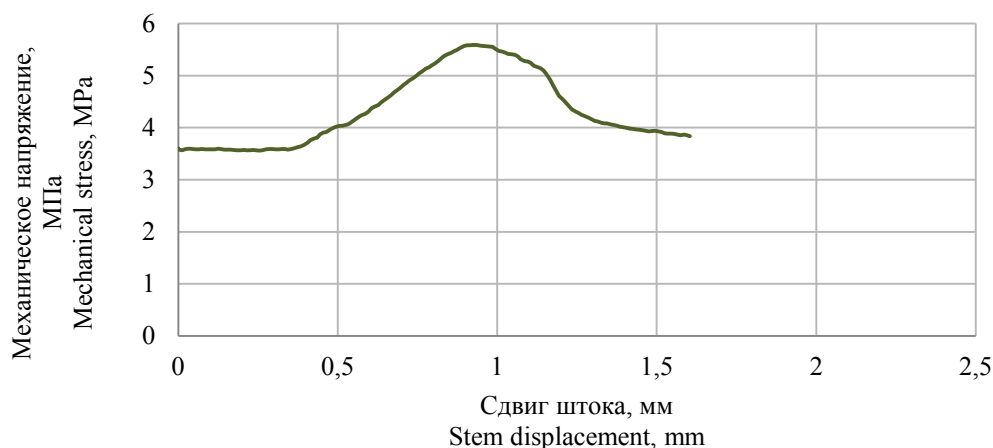


Рисунок 5 – График зависимости механического напряжения от глубины надавливания на образец, произведенного методом раскатки прижимным валом
Figure 5 – Mechanical stress vs. indentation depth for samples produced by roller pressing

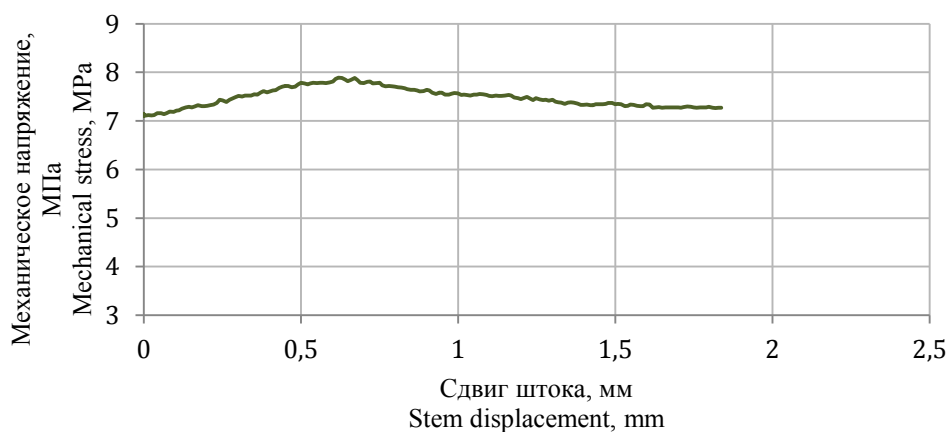


Рисунок 6 – График зависимости механического напряжения от глубины надавливания на образец, произведенного методом раскатки прижимным валом с добавлением желатина
Figure 6 – Mechanical stress vs. indentation depth for samples produced by roller pressing with gelatin addition

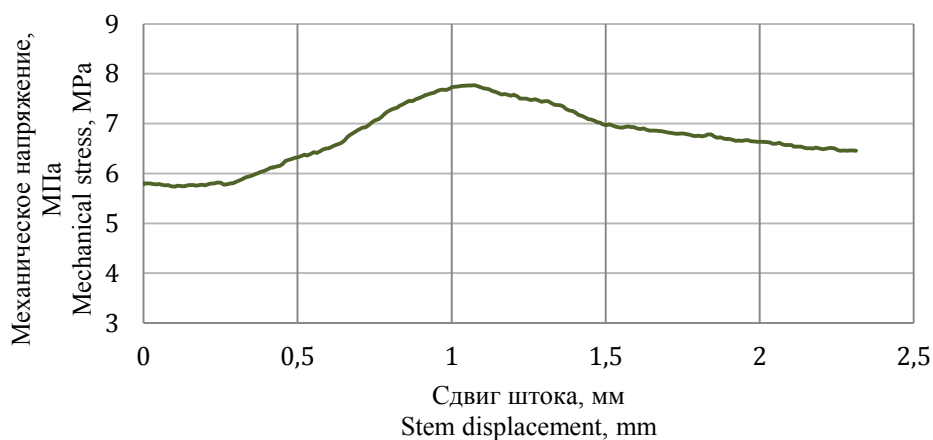


Рисунок 7 – График зависимости механического напряжения от глубины надавливания на образец, произведенного методом прессования
Figure 7 – Mechanical stress vs. indentation depth for samples produced by pressing

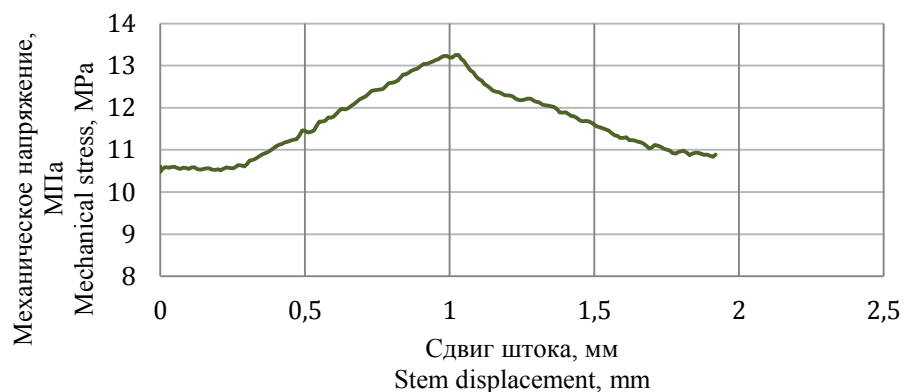


Рисунок 8 – График зависимости механического напряжения от глубины надавливания на образец, произведенного методом прессования с добавлением желатина
Figure 8 – Mechanical stress vs. indentation depth for samples produced by pressing with gelatin addition

Графики подтверждают, что прессование с добавлением желатина обеспечивает наилучшие механические характеристики материала, минимизируя дефекты и повышая устойчивость к нагрузкам. Визуальная целостность образцов (рисунки 9-12) коррелирует с их высокой прочностью, что делает этот метод оптимальным для производства биоразлагаемых изделий.



Рисунок 9 – Образцы, полученные методом раскатки прижимным валом
Figure 9 – Samples obtained by roller pressing



Рисунок 11 – Образцы, полученные методом прессования
Figure 11 – Samples obtained by pressing



Рисунок 10 – Образцы, полученные методом раскатки прижимным валом с добавлением желатина
Figure 10 – Samples obtained by roller pressing with gelatin addition



Рисунок 12 – Образцы, полученные методом прессования с добавлением желатина
Figure 12 – Samples obtained by pressing with gelatin addition

Сравним полученные образцы (рисунки 9-12) (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение методов формования
Table 1 – Comparison of forming methods

Метод / Method	Раскатка прижимным валом / Roller pressing	Раскатка прижимным валом с добавлением желатина / Roller pressing with gelatin	Прессование / Pressing	Прессование с добавлением желатина / Pressing with gelatin
Влажность, % / Moisture, %	6,3±0,02	6,3±0,04	6,1±0,05	6,1±0,01
Прочность, МПа / Strength, MPa	5,62±0,07	7,95±0,03	7,83±0,01	13,38±0,03
Механическая прочность / Mechanical stability	Устойчив к механическим воздействиям / Resistant to mechanical stress			
Растворимость в воде / Water solubility	Начало растворения – через 15 минут, полное растворение – через 45 минут / The beginning of dissolution is after 15 minutes, complete dissolution is after 45 minutes	Начало растворения – через 19 минут, полное растворение – через 30 минут / The beginning of dissolution is after 19 minutes, complete dissolution is after 30 minutes	Начало растворения – через 31 минут, полное растворение – через 80 минут / The beginning of dissolution is after 31 minutes, complete dissolution is after 80 minutes	Начало растворения – через 40 минут, полное растворение – через 112 минут / The beginning of dissolution is after 40 minutes, complete dissolution is after 112 minutes
Растворимость в горячей воде / Hot water solubility	Полное растворение через 10 минут / Dissolves completely after 10 minutes	Полное растворение через 15 минут / Completely dissolved after 15 minutes	Полное растворение через 12 минут / Dissolves completely after 12 minutes	Полное растворение через 17 минут / Dissolves completely after 17 minutes

Прессование обеспечивает более плотную структуру материала, что приводит к увеличению прочности. Добавление желатина в процессе прессования дополнительно повышает прочность материала до 13,38 МПа, что делает его пригодным для использования в условиях повышенных механических нагрузок.

Полученный материал обладает более высокой прочностью и сравнимой растворимостью с существующими аналогами, в которых в качестве наполнителя используется рисовая шелуха (таблица 2). Это делает его конкурентоспособным для использования в различных отраслях промышленности.

Таблица 2 – Сравнение с аналогами
Table 2 – Comparison with analogues

Параметры / Parameters	Итоговый образец / Final sample	Аналог [9] / Analogue
Влажность, % / Moisture, %	6,1±0,01	4,96
Прочность, МПа / Strength, MPa	13,38±0,03	0,62
Растворимость в воде, мин / Water solubility, min	40	30
Растворимость в горячей воде, мин. / Hot water solubility, min	17	15

Как видно из таблицы 2, разработанный материал превосходит аналог по прочности (13,38 МПа против 0,62 МПа), что делает его более устойчивым к механическим воздействиям. При этом влажность и растворимость материала находятся на сопоставимом уровне, что подтверждает его конкурентоспособность. Добавление желатина в количестве 2,3 % значительно улучшило гидрофобные свойства материала. Это подтверждается результатами испытаний на растворимость: время полного растворения материала с желатина

тином увеличилось до 40 минут, что делает его более устойчивым к воздействию влаги и повысило прочность материала. Влажность материала составила 6,1 %, что является приемлемым показателем для биоразлагаемых материалов.

Обсуждение. Разработанный биоразлагаемый композиционный материал на основе крахмала с включением наполнителя из скорлупы плодовых косточек демонстрирует ряд существенных преимуществ, что позволяет рассматривать его как перспективную альтернативу традиционным синтетическим полимерам при производстве одноразовой посуды и упаковки.

1. Высокие физико-механические характеристики: экспериментальные исследования подтвердили, что материал, полученный методом прессования с добавлением желатина, обладает повышенной прочностью на уровне 13,38 МПа. Данный показатель значительно превышает аналогичные характеристики материалов, изготовленных методом раскатки прижимным валом (7,95 МПа) и прессованием без модификации желатином (7,83 МПа).

2. Экологическая безопасность: одним из ключевых преимуществ материала является его способность к биоразложению. Это существенно снижает экологическую нагрузку, связанную с накоплением пластиковых отходов.

3. Использование вторичного сырья: в качестве наполнителя использовалась скорлупа плодовых косточек, являющаяся отходом производства пищевых продуктов. Это не только снижает себестоимость производства, но и способствует рациональному использованию отходов. Кроме того, наличие в составе скорлупы диоксида кремния и лигнина способствует улучшению механических характеристик материала.

4. Гидрофобные свойства: введение желатина в состав композиции позволило повысить гидрофобность материала, в целях повышения этих свойств предлагается покрытие продуктов слоем полилактидной пленки.

Разработанный биоразлагаемый композиционный материал на основе крахмала и скорлупы плодовых косточек представляет собой перспективное решение для замены традиционных синтетических полимеров. Высокие физико-механические характеристики, экологическая безопасность и возможность использования вторичного сырья делают его конкурентоспособным на рынке экологически чистых материалов. Полученный материал обладает широким потенциалом применения в различных отраслях промышленности, может быть использован для производства экологически чистой продукции, включая одноразовую посуду. Это особенно актуально в условиях растущего спроса на экологически безопасные альтернативы традиционным пластиковым изделиям.

Дальнейшие исследования и разработки в этой области позволят улучшить эксплуатационные характеристики полученного материала и расширить сферы его применения, что будет способствовать снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду и переходу к более устойчивым технологиям.

Заключение. В результате проведенных исследований установлены ключевые параметры разработки биоразлагаемого материала на основе крахмала с включением наполнителя из скорлупы плодовых косточек. Оптимальный состав материала: крахмал (11,88 %), вода (45,61 %), лимонная кислота (0,42 %), глицерин (7,25 %), желатин (0,15 %) и измельченная скорлупа плодовых косточек (34,69 %). Экспериментально подтверждено, что метод прессования с добавлением 2,3 % желатина обеспечивает максимальную прочность материала – 13,38 МПа, что на 59,4 % превышает аналогичный показатель для образцов, полученных методом раскатки.

Научная значимость работы заключается в разработке композиционного материала, сочетающего биоразлагаемость с высокими эксплуатационными характеристиками. Использование скорлупы плодовых косточек в качестве наполнителя решает две задачи:

1. Снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду за счет использования отходов производства пищевых продуктов (V класс опасности) и, как один из результатов, предотвращения образования значительного количества отходов пластика.

2. Снижение зависимости от нефти: замена синтетических полимеров возобновляемым сырьем сокращает использование ископаемых ресурсов.

Разработанный биоразлагаемый материал демонстрирует высокий потенциал для замены традиционных пластиков в ключевых отраслях промышленности. Его внедрение способствует снижению углеродного следа, решению проблемы пластикового загрязнения и переходу к устойчивым производственным моделям. Дальнейшие исследования должны быть направлены на преодоление технических ограничений и адаптацию материала к требованиям рынка, что позволит ускорить его коммерциализацию и внедрение в промышленность [12-14].

Conclusions. As a result of the conducted research, the key parameters for the development of a biodegradable material based on starch with the inclusion of fruit stone shell filler have been established. The optimal composition of the material is as follows: starch (11.88 %), water (45.61 %), citric acid (0.42 %), glycerol (7.25 %), gelatin (0.15 %), and crushed fruit stone shells (34.69 %). It has been experimentally confirmed that the pressing method with the addition of 2.3 % gelatin ensures maximum material strength of 13.38 MPa, which is 59,4 % higher than the analogous parameter for samples produced by roller pressing.

The scientific significance of the work lies in the development of a composite material that combines biodegradability with high performance characteristics. The use of fruit stone shells as a filler addresses two key challenges:

1. Reducing anthropogenic environmental impact through the utilization of food production waste (hazard class V) and, as a result, preventing the generation of significant amounts of plastic waste.

2. Reducing dependency on petroleum: Replacing synthetic polymers with renewable raw materials minimizes the use of fossil resources.

The developed biodegradable material demonstrates high potential for replacing traditional plastics in key industrial sectors. Its implementation contributes to reducing carbon footprint, addressing plastic pollution, and transitioning to sustainable production models. Further research should focus on overcoming technical limitations and adapting the material to market requirements, which will accelerate its commercialization and industrial adoption.

Библиографический список

1. Асякина Л. К., Просеков А. Ю., Дышлюк Л. С. Технологии биоразлагаемых упаковочных материалов: монография. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2017. 119 с.
2. Потороко И. Ю., Науменко Н. В., Малинин А. В., Цатуров А. В., Кади А. М., Никонов А. В. Разработка технологии формованной биоразлагаемой экопосуды на основе вторичных ресурсов зерномучного производства. Южно-Уральский государственный университет. 2021. Т. 9. № 3. С. 62-71.
3. Khamdamova M. D. Q., Asqarov I. R. Chemical compositions of biodegradable disposable tableware based on corn bran. *Universum: chemistry and biology*. 2022. No. 7-3 (97). Pp. 45-49.
4. Ершова О. В., Муллина Э. Р., Бессонова Ю. А., Багреева К. В. Исследование свойств синтетических и биоразлагаемых полимеров, с целью возможности их использования в пищевой отрасли. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 1 (91). С. 245-251.
5. Zeghoud S., Ahmed S., Ben Amor I. et al. Starch for Packaging Materials. *Biobased Packaging Materials*. Singapore: Springer, 2023. Pp. 45-67.
6. Abdel Hamid E. M., Mohamed A. E., Mohamed A. A. et al. Optimization of corn starch/glycerol, acetic acid, and cellulose fibers ratio on biodegradable plastic synthesis by Box–Behnken design (BBD). *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2025. Vol. 25. № 3. Pp. 112-125.
7. Suhag D., Kaushik S., Taxak V. B. Biodegradable Biomaterials. *Handbook of Biomaterials for Medical Applications. Biomedical Materials for Multi-functional Applications* ed. by K. Smith. Singapore: Springer, 2024. V. 1. Pp. 89-104.
8. Волостнова О. И., Исмаилова Р. Н., Селиванов А. В. Биоразлагаемые пластики – будущее упаковки. Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 8. С. 478-480.
9. Николаев Е. М. Обоснование методики получения биоразлагаемой одноразовой посуды. XII Конгресс молодых ученых: сборник научных трудов. СПб.: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2023. С. 45-50.
10. Иринина О. И., Суханова К. А. Экологичная посуда и упаковка для продукции массового питания: реалии и перспективы. *Сервис plus*. 2020. Т. 14. № 3. С. 65-75.
11. Николаев Е. М. Актуальные вопросы технологии получения биоразлагаемой одноразовой посуды. Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: материалы 51-й научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. СПб.: Университет ИТМО, 2022. Т. 1. С. 204-206.
12. Петров А. В., Сидорова И. Н. Биоразлагаемые полимеры: современное состояние и перспективы. Вестник науки и образования. 2021. № 2. С. 45-50.
13. Громова Т. А., Лебедева Н. А. Применение биоразлагаемых упаковочных материалов в пищевой промышленности. Проблемы экологии и безопасности. 2020. Т. 5. № 3. С. 112-118.
14. Коваленко Т. И., Сеница В. А. Биоразлагаемые упаковочные материалы: тенденции и перспективы. Современные технологии и материалы. 2020. № 7. С. 15-20.

References

1. Asyakina L. K., Prosekov A. Yu., Dyshlyuk L. S. Technologies of biodegradable packaging materials: monograph. Kemerovo: Kemerovo State University, 2017. 119 p.
2. Potoroko I. Yu., Naumenko N. V., Malinin A. V., Tsaturov A. V., Kadi A. M., Nikonov A. V. Development of Technology of Molded Biodegradable Eco-Cookware Based on Secondary Resources of Grain Flour Production. *South Ural State University*. 2021. V. 9. Nr. 3. Pp. 62-71.
3. Khamdamova M. D. Q., Asqarov I. R. Chemical compositions of biodegradable disposable tableware based on corn bran. *Universum: chemistry and biology*. 2022. No. 7-3 (97). Pp. 45-49.
4. Ershova O. V., Mullina E. R., Bessonova Ju. A., Bagreeva K. V. Investigation of the properties of synthetic and biodegradable polymers, with a view to the possibility of their use in the food industry. *Vestnik VGUIT*. 2022. V. 84. No 1. Pp. 245-251.

5. Zeghoud S., Ahmed I. Ben Amor et al. Starch for Packaging Materials. Biobased Packaging Materials. Singapore: Springer, 2023. Pp. 45-67.
6. Abdel Hamid E. M., Mohamed A. E., Mohamed A. A. et al. Optimization of corn starch/glycerol, acetic acid, and cellulose fibers ratio on biodegradable plastic synthesis by Box-Behnken design (BBD). Clean Technologies and Environmental Policy. 2025. V. 25. No. 3. Pp. 112-125.
7. Suhag D., Kaushik S., Taxak V. B. Biodegradable Biomaterials. Handbook of Biomaterials for Medical Applications, Volume 1. Biomedical Materials for Multi-functional Applications. Singapore: Springer, 2024. Pp. 89-104.
8. Volostnova O. I., Ismailova R. N., Selivanov A. V. Biodegradable plastics - the future of packaging. Bulletin of Kazan Technological University. 2010. No. 8. Pp. 478-480.
9. Nikolaev E. M. Substantiation of the Method of Obtaining Biodegradable Disposable Tableware. XII Congress of Young Scientists: Collection of Scientific Works. St. Petersburg, ITMO National Research University Publ., 2023. Pp. 45-50.
10. Irinina O. I., Sukhanova K. A. Eco-friendly tableware and packaging for mass catering products: realities and prospects. Service plus. 2020. V. 14. No. 3. Pp. 65-75.
11. Nikolaev E. M. Actual Issues of Biodegradable Disposable Tableware Production Technology. Almanac of Scientific Works of Young Scientists of ITMO University: Materials of the 51st Scientific and Educational Conference of ITMO University. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2022. V. 1. Pp. 204-206.
12. Petrov A. V., Sidorova I. N. Biodegradable polymers: current state and prospects. Bulletin of Science and Education. 2021. No. 2. Pp. 45-50.
13. Gromova T. A., Lebedeva N. A. Application of biodegradable packaging materials in the food industry. Problems of Ecology and Safety. 2020. V. 5. No. 3. Pp. 112-118.
14. Kovalenko T. I., Sinita V. A. Biodegradable packaging materials: trends and prospects. Modern Technologies and Materials. 2020. No. 7. Pp. 15-20.

Информация об авторах

Картушина Юлия Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: kartysina@rambler.ru

Храмова Валентина Николаевна, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: hramova_vn@mail.ru

Гостева Анна Леонидовна, соискатель, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: gostevaana347@gmail.com

Authors' Information

Kartushina Yuliya Nikolaevna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: kartysina@rambler.ru

Khramova Valentina Nikolaevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: hramova_vn@mail.ru

Gosteva Anna Leonidovna, applicant, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: gostevaana347@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО /
AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT

Тютюма Н. В., Булахтина Г. К. Факторы антропогенно-климатического типа опустынивания природных кормовых угодий Астраханской области Tutyuma N. V., Bulakhtina G. K. The factors of the anthropogenic-climatic type of the desertification of natural forage lands in the Astrakhan region	13
Беляков А. М., Шatrovская М. О., Сытин Г. О. Влияние ПЗЛН на влагообеспеченность почвы и структуру урожая озимой пшеницы в подзоне темно-каштановых почв Волгоградской области Belyakov A. M., Shatrovskaya M. O., Sytin G. O. The influence of the protective forest belts on the soil moisture availability and winter wheat yield structure in the subzone of dark chestnut soils of Volgograd region	22
Зеленев А. В., Маркова И. Н., Питоня В. Н., Смутнев П. А. Селекционный вклад в повышение урожайности и адаптивности яровой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья Zelenev A. V., Markova I. N., Pitonya V. N., Smutnev P. A. Breeding contribution to increasing the yield and adaptability of spring wheat in the conditions of the Lower Volga region	29
Калмыкова Е. В., Рогулина Е. Д. Жароустойчивость перспективных древесных растений для агролесомелиорации в Нижнем Поволжье Kalmykova E. V., Rogulina E. D. Heat resistance of the promising woody plants for agroforestry reclamation in the Lower Volga region	37
Пакина Е. Н., Зеленев А. В., Ляшко М. У., Терентьев В. М., Терентьева Т. С. Оценка эффективности применения соломы при возделывании зернового сорго Pakina E. N., Zelenev A. V., Lyashko M. U., Terentyev V. M., Terentyeva T. S. Evaluation of the efficiency of straw use in the cultivation of grain sorghum	45
Федотова А. В., Кучерова А. Н., Данченко И. А. Агрегатное состояние каштановой почвы агролесоландшафтов сухой степи Fedotova A. V., Kucheroval A. N., Danchenko I. A. The soil structure of chestnut soil in agroforest landscape of dry steppe	55
Ангольд Е. В., Кирейчева Л. В. Научно обоснованные мероприятия по борьбе с водной эрозией на сельскохозяйственных землях бассейна реки Казанка Angold Ye. V., Kireicheva L. V. Scientifically based measures to combat water erosion on agricultural lands of the Kazanka River basin	65
Васильев Э. В., Черникова М. В., Шалавина Е. В., Васильева Н. С. Методика определения общего азота в побочных продуктах животноводства методом высокотемпературного окисления на приборе «Топаз-НС» Vasilev E. V., Chernikova M. V., Shalavina E. V., Vasileva N. S. The method for determining total nitrogen in the animal by-products by the high-temperature oxidation using the Topaz-NC device	74
Власенко М. В., Кулик А. К. Оценка продуктивности сенокосов на участках, приуроченных к припойменным и балочным аллювиально-луговым песчаным и супесчаным отложениям Донского бассейна Vlasenko M. V., Kulik A. K. Hayfields productivity assessment in the areas confined to floodplain and gully alluvial-meadow sandy and sandy loam deposits of the Don basin	87

Власов В. Г.

Влияние удобрения на эффективность выращивания нового сорта овса Драгун в лесостепи Поволжья

Vlasov V. G.

The effect of fertilizers on the efficiency of cultivation the new variety of oats «Dragun» in the Volga forest-steppe 97

Гречишкина О. С., Новикова А. А., Шаишников А. А.

Агробиологические, морфологические и технологические признаки сорта ярового ячменя Оренбургский 24

Grechishkina O. S., Novikova A. A. Shaishnikov A. A.

Agrarian and biological, morphological and technological characteristics of the spring barley variety Orenburgsky 24 108

Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С.

Представители семейства жуков (Coleoptera, Carabidae) как компонент населения герпетобиеотопов пшеничного и хлопкового полей

Karпова T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S.

The representatives of the ground beetle's family (Coleoptera, Carabidae) as a component of the herpetobiont's population of wheat and cotton fields 116

Комарова О. П., Тихонова М. К., Московец М. В., Торопов А. Ю.

Эколого-мелиоративный мониторинг водных объектов в Опытной станции «Орошаемая»: проблемы и пути решения

Komarova O. P., Tikhonova M. K., Moskovets M. V., Toropov A. Y.

Ecological and reclamation monitoring of the water bodies in the Experimental Station "Oroshaemaya": the problems and the solutions 125

Кони́ева Г. Н., Адучиева М. Г.

Продуктивность агрофитоценозов масличных культур в рисовых севооборотах Калмыкии

Konievа G. N., Aduchieva M. G.

The productivity of oilseed crops agrophytocenosis in the rice crop rotations of Kalmykia 133

Наумова Л. Г., Ганич В. А.

Сорта винограда межвидового происхождения в нестабильных погодных условиях Нижнего Придонья

Naumova L. G., Ganich V. A.

Grape varieties of the interspecific origin in the unstable weather conditions of the Lower Don region 141

Неверов А. А.

Весеннее половодье на реке Сакмара как предвестник изменения погодных условий и урожая агрокультур в центральной зоне Оренбуржья

Neverov A. A.

The Sakmara river's spring flood as a harbinger of the changes in the weather conditions and crop harvest in the central zone of the Orenburg region 151

Рыбашлыкова Л. П., Турко С. Ю.

Формирование урожайности луговых угодий при различных факторах увлажнения в Волго-Ахтубинской пойме

Rybashlykova L. P., Turko S. Yu.

The formation of the meadow yields under various moisture factors in the Volga-Akhtuba floodplain 162

Сарычев, А. Н., Резникова О. В., Федорова А. А., Егоров А. В.

Формирование показателей микроклимата в зоне влияния полезащитных лесных полос на светло-каштановых почвах

Sarychev A. N., Reznikova O. V., Fedorova A. A., Egorov A. V.

The formation of the microclimate indicators in the zone of influence of the field-protective forest belts on light chestnut soils 170

Токарев К. Е., Мелихова Е. В., Рогачев А. Ф., Фомин С. Д. Разработка алгоритма нейросетевой бинарной классификации для картирования сорной растительности и очагов ее распространения Tokarev K. E., Melikhova E. V., Rogachev A. F., Fomin S. D. The development of a neural network binary classification algorithm for mapping weeds and their distribution centers	178
Верещагин Е. К., Данченко И. А., Федотова А. В. Влияние пирогенного фактора на химический состав почв в лесных полосах (на примере Волгоградской области) Vereshchagin E. K., Danchenko I. A., Fedotova A. V. The influence of the pyrogenic factor on the chemical composition of soils in forest belts (on the example of the Volgograd region)	186
Климов С. В. Хозяйственно-биологическая оценка клоновых подвоев косточковых культур в аридных условиях Северного Прикаспия Klimov S. V. The economic and biological assessment of the clonal rootstocks of stone fruit crops in the arid conditions of the Northern Caspian region	198
Поташкина Ю. Н. Морфометрические характеристики и фитомасса насаждений <i>Ulmus pumila</i> в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья Potashkina Yu. N. Morphometric characteristics and phytomass of <i>Ulmus pumila</i> plantations in the conditions of the dry steppe zone of the Lower Volga region	204
Рогачев М. В., Бисалиев А. А., Плескачев Ю. Н., Воронов С. И. Математическое моделирование прогнозирования урожайности томата в аридной зоне Rogachev M. V., Bisaliev A. A., Pleskachev Yu. N., Voronov S. I. The mathematical modeling of the tomato yield forecasting in the arid zone	212
Роменская С. Е., Таранова Т. Ю., Дёмина Е. А., Кинчаров А. И. Влияние агрометеорологических условий Средневолжского региона на хлебопекарные свойства яровой мягкой пшеницы Romenskaya S. E., Taranova T. Yu., Demina E. A., Kincharov A. I. The influence of agrometeorological conditions of the Middle Volga region on the baking properties of spring soft wheat	219
Синдюкова В. А., Петров Н. Ю., Денисов К. Е., Горбачева А. С. Научно-практический опыт применения различных гербицидов при возделывании льна масличного Sindyukova V. A., Petrov N. Yu., Denisov K. E., Gorbacheva A. S. The scientific and practical experience in the use of various herbicides in the cultivation of the oil flax	229

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

Горлов И. Ф., Скачков Д. А., Божкова С. Е., Борохвостова М. А. Влияние натуральных пищевых волокон на качество вареных колбас функциональной направленности Gorlov I. F., Skachkov D. A., Bozhkova S. E., Borokhvostova M. A. The effect of natural dietary fibers on the quality of cooked sausages of functional orientation	237
Забелина М. В., Горошко Д. Д., Ряднов А. А., Светлов В. В., Ступина Л. В. Гематологические показатели и иммунный статус крови подопытных козوماتок зааненской породы при введении в их рацион органического микроэлементного комплекса Zabelina M. V., Goroshko D. D., Ryadnov A. A., Svetlov V. V., Stupina L. V. Hematological parameters and immune status of blood of the Saanen breed experimental goats when the organic trace element complex is introduced into their diet	249

Николаев С. И., Даниленко И. Ю., Чехранова С. В., Карапетян А. К., Шкаленко В. В., Пономаренко Д. В. Влияние фитобиотиков на продуктивность сельскохозяйственной птицы Nikolaev S. I., Danilenko I. Y., Chekhranova S. V., Karapetyan A. K., Shkalenko V. V., Ponomarenko D. V. The effect of phytochemicals in diets on poultry productivity	259
Нуржанов Б. С., Атландерова К. Н., Дускаев Г. К. Влияние природных растительных веществ на метаболизм в организме крупного рогатого скота Nurzhonov B. S., Atlanderova K. N., Duskaev G. K. The influence of the natural plant substances on metabolism in the body of cattle	267
Ранделин Д. А., Давудова Т. М., Воронцова Е. С., Новокщёнова А. И., Кравченко Ю. В. Эффективность криопротекторов при оплодотворении икры русского осетра Randelin D. A., Davudova T. M., Vorontsova E. S., Novokschchenova A. I., Kravchenko Yu. V. The effectiveness of cryoprotectants in the fertilization of Russian sturgeon caviar	273
Свяженина М. А., Уразова А. А. Экстерьер голштинизированного чёрно-пёстрого крупного рогатого скота Svyazhenina M. A., Urazova A. A. The exterior of the holsteinized black-and-white cattle	279
Харламов А. В., Фролов А. Н., Панин В. А. Продуктивность и минеральный статус коз в зимний и весенний период Kharlamov A. V., Frolov A. N., Panin V. A. Goats productivity and mineral status in winter and spring	289
Агапова В. Н., Ранделин Д. А., Воронцова Е. С., Агапов С. Ю. Морфобиохимические показатели крови тилапии при использовании гаприна в составе аквакормов Agapova V. N., Randelin D. A., Vorontsova E. S., Agapov S. Yu. Morphological and biochemical parameters of tilapia blood when using gaprin in the composition of aquaculture feeds	300
Аринжанов А. Е., Маленкина К. А., Мирошникова Е. В., Килякова Ю. В. Влияние ультрадисперсных частиц железа на углеродной матрице на элементный состав мышечной ткани карпа Arinzhanov A. E., Malenkina K. A., Miroshnikova E. V., Kilyakova Yu. V. The effect of ultrafine iron particles on the carbon matrix on the elemental composition of carp muscle tissue	310
Жандалгарова А. Д., Грозеску Ю. Н., Ранделин Д. А., Кравченко Ю. В. Физиолого-иммунологическое состояние стерляди при использовании сорбированного пробиотического препарата на основе лакто- и бифидобактерий Zhandalgarova A. D., Grozesku Yu. N., Randelin D. A., Kravchenko Yu. V. Physiological and immunological state of sterlet when using the sorbed probiotic preparation based on Lacto- and Bifidobacterium	317
Климов В. А., Кочетков Н. И., Горбунов А. В., Махов С. М., Иванов С. С., Кравченко Ю. В. Возможность использования кавитации для дезинфекции и очистки воды при водоподготовке и водообмене в аквакультуре Klimov V. A., Kochetkov N. I., Gorbunov A. V., Makhov S. M., Ivanov S. S., Kravchenko Yu. V. The possibility of using cavitation for water disinfection and purification in water treatment and water exchange in aquaculture	325
Контарева В. Ю., Белик С. Н., Моргуль Е. В., Разин А. С. Влияние факторов трудового процесса на здоровье работников АПК Kontareva V. Yu., Belik S. N., Morgul E. V., Razin A. S. The influence of labor process factors on the health of agricultural workers	335
Самокиш Н. В., Растоваров Е. И., Сычева О. В., Серый Н. В. Муха черная львинка – от личинки до муки Samokish N. V., Rastovarov E. I., Sycheva O. V., Seriy N. V. Black soldier fly – from larva to flour	348

Хабибуллин И. М., Илларионова О. В., Миронова И. В., Хабибуллин Р. М. Изменение технологических свойств молока при использовании пчелиного подмора Khabibullin I. M., Illarionova O. V., Mironova I. V., Khabibullin R. M. Changes in the technological properties of milk when using dead bees	355
Ушаков М. А., Николаев С. И., Соничев Б. Е., Воронцова Е. С., Шкаленко В. В., Чехранова С. В. Оценка влияния кормовой добавки "БиоСпектр 2Б" на рост и развитие лабораторных животных Ushakov M. A., Nikolaev S. I., Sonichev B. E., Vorontsova E. S., Shkalenko V. V., Chehranova S. V. The evaluation of the effect of the feed additive "BioSpectr 2B" on the growth and development of laboratory animals	362
Чучунов В. А., Радзиевский Е. Б., Варакин А. Т., Петрухин В. А. Регулируемый обогрев расплодной части гнезда пчел при ранневесеннем развитии Chuchunov V. A., Radzievsky E. B., Varakin A. T., Petrukhin V. A. The adjustable heating of the fertile part of the bee nest during early spring development	372
Кузьмина Е. А., Николаев С. И., Даниленко И. Ю., Чехранова С. В., Воронцова Е. С., Карапетян А. К., Шкаленко В. В. Использование органических кислот в кормлении цыплят-бройлеров Kuzmina E. A., Nikolaev S. I., Danilenko I. Y., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S., Karapetyan A. K., Shkalenko V. V. The use of organic acids in the broiler chickens feeding	378
Мингазова М. С., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Килякова Ю. В. Элементный профиль карпа при использовании в рационе комплексных кормовых добавок Mingazova M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Yu. V. The elemental profile of carp when using complex feed additives in the diet	384
Солуянова Ю. В., Перерядкина С. П., Ушаков М. А., Гаранин М. В. Обзор и разработка программы синхронизации половой охоты у овец Soluyanov Yu. V., Pereryadkina S. P., Ushakov M. A., Garanin M. V. The review and development of the synchronization program for sexual heat in sheep	393
Юдина К. С. Профилактика гинекологических заболеваний у свиноматок после опороса в условиях современного свиноводческого комплекса Yudina K. S. The prevention of the sows after farrowing gynecological diseases in the conditions of the modern pig breeding complex	401
Акимова Ю. В., Сложенкина М. И., Горлов И. Ф. Разработка и оптимизация рецептуры варено-копченых колбас из баранины, произведенных по технологии «Халаль». Akimova Y. V., Slozhenkina M. I., Gorlov I. F. The development and optimization of the recipe for boiled smoked lamb sausages produced using the "Halal" technology	411

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Борисенко И. Б., Губина Л. В., Осипов Б. И. Сравнительная оценка систем основной обработки почвы в условиях засушливого земледелия Borisenko I. B., Gubina L. V., Osipov B. I. The comparative assessment of the basic tillage systems in the dry agriculture	418

Калинин А. Б., Смелик В. А., Теплинский И. З., Фомин С. Д., Yinjiang Jia, Rui Gao Управление режимами влагообеспечения сельскохозяйственных культур на основе использования эмпирической модели внутрипочвенного тепло- влагопереноса Kalinin A. B., Smelik V. A., Teplinsky I. Z., Fomin S. D., Yinjiang Jia, Rui Gao Management of moisture supply regimes for agricultural crops based on the use of an empirical model of soil heat and moisture transfer	426
Лебедев А. Т., Эвиев В. А., Серегин А. А., Лебедев П. А., Абушинов О. А., Мучаев А. Б., Васькиев О. Д. Динамика изменения свойств семенного вороха прутняка простертого Lebedev A. T., Eviev V. A., Seregin A. A., Lebedev P. A., Abushinov O. A., Muchaev A. B., Vaskiev O. D. Dynamics of changes in the properties of the seed mass of the Kochia prostrate	436
Мещеряков М. П., Григоров С. М., Фомин С. Д., Гапич Д. С., Мещерякова Е. Г. Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв Mescheryakov M. P., Grigorov S. M., Fomin S. D., Gapich D. S., Mescheryakova E. G. The device for reclamation of the man-made disturbed soils	448
Рогачев А. Ф., Рогачев Д. А. Обоснование математических моделей как алгоритмической основы цифровых двойников водохозяйственных организаций Rogachev A. F., Rogachev D. A. The validation of the mathematical models as an algorithmic basis for the digital doubles of water management enterprises	455
Успенский И. А., Юхин И. А., Колотов А. С., Прибылов Д. О., Ушанев А. И., Юмаев Д. М., Филюшин О. В. Влияние тары и упаковочных материалов на повреждения яблок при перевозке Uspensky I. A., Yukhin I. A., Kolotov A. S., Pribylov D. O., Ushanev A. I., Yumaev D. M., Filyushin O. V. The influence of containers and packaging materials on the damage to apples during the transportation	463
Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Лебедь Н. И., Нехорошев Д. Д., Чернявский А. Н., Костычев К. В., Петров Ю. Н. Обработка семян зерновых культур перед посевом в электрическом поле переменного тока и биологическим удобрением Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Lebed N. I., Nekhoroshev D. D., Chernyavsky A. N., Kostychev K. V., Petrov Yu. N. The treatment of the grain seeds before sowing in the electric field of alternating current and biological fertilizer	471
Большев В. Е. Анализ текстовой информации об устранении отключений в сельских электросетях 0,4 кВ с использованием латентно-семантического анализа и кластеризации Bolshev V. E. The analysis of the textual information on elimination of outages in 0.4 kV rural power networks using latent semantic analysis and clustering	479
Васильев Э. В., Максимов Д. А., Папушин Э. А., Шалавина Е. В., Матейчик С. Н. Информационно-аналитическая программная платформа экологической оценки в сельском хозяйстве Vasilev E. V., Maksimov D. A., Papushin E. A., Shalavina E. V., Mateichik S. N. Information and Analytical Software Platform for Environmental Assessment in Agriculture	493
Колотов А. С., Успенский И. А., Юхин И. А., Ушанев А. И., Юмаев Д. М., Филюшин О. В. Эффективность телематики в технической эксплуатации автотранспорта Kolotov A. S., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Ushanev A. I., Yumaev D. M., Filyushin O. V. The telematics efficiency in the technical operation of vehicles	504
Майер А. В., Пенькова Р. И. Разработка конструкции системы мелко-струйчатого орошения в сочетании с мелкодисперсным дождеванием Mayer A. V., Penkova R. I. The development of the fine-jet irrigation system design in combination with fine-dispersed sprinkling	511

Темасова Г. Н., Леонов О. А.

Оценка потерь от внешнего брака на предприятиях технического сервиса АПК

Temasova G. N., Leonov O. A.

The assessment of losses due to the external defects at the agricultural technical service

enterprises 520

Костычев К. В.

Эффективность комбинированной электроимпульсной и ультразвуковой обработки фуражного зерна: повышение переваримости и снижение антипитательных веществ

Kostychev K. V.

The efficiency of combined electric pulse and ultrasonic treatment of forage grain: increasing

digestibility and reducing anti-nutrients 529

Чучкалов С. И., Филиппов В. П., Алексеев В. В., Васильев С. А., Максимов И. И.

Оценка влияния работы почвообрабатывающей техники на изменение эрозийной устойчивости агроландшафта

Chuchkalov S. I., Filippov V. P., Alekseev V. V., Vasiliev S. A., Maksimov I. I.

The assessment of the tillage machinery impact on changes in the agricultural landscape

erosion resistance 537

Ажгалиев Р. С., Воробьева Н. С., Иванов А. Г., Дяшкин А. В.

Автоматизация технологического процесса высвобождения ростка из-под пленки с использованием мобильной роботизированной платформы

Azhgaliev R. S., Vorobyeva N. S., Ivanov A. G., Dyashkin A. V.

The automation of the technological process of releasing the sprout from under the film using the

mobile robotic platform 547

Бородин В. И., Мартынов И. С., Шапров М. Н., Седов А. В., Садовников М. А., Бойко С. Ю.

Совершенствование технологии междурядной обработки пропашных культур

Borodin V. I., Martynov I. S., Shaprov M. N., Sedov A. V., Sadovnikov M. A., Boyko S. Yu.

The improvement of the inter-row cultivation technology of the row crops 557

Картушина Ю. Н., Храмова В. Н., Гостева А. Л.

Получение биоразлагаемого материала на основе крахмала с включением отходов производства пищевых продуктов (скорлупы плодовых косточек)

Kartushina Yu. N., Khramova V. N., Gosteva A. L.

The biodegradable material production based on the starch with the inclusion of the food

production waste (fruit stone shells) 568

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS 579

**ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ
НАУЧНЫХ СТАТЕЙ 2025**

Редакция журнала в своей деятельности руководствуется принципами научности, объективности и беспристрастности

1. Содержание статьи должно соответствовать специальностям:
 - 4.1.1 Общее земледелие и растениеводство.
 - 4.1.2 Селекция, семеноводство биотехнология растений.
 - 4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений.
 - 4.1.4 Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры.
 - 4.1.5 Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика.
 - 4.1.6 Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация.
 - 4.2.1 Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология.
 - 4.2.2 Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность.
 - 4.2.3 Инфекционные болезни и иммунология животных.
 - 4.2.4 Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства.
 - 4.2.5 Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных.
 - 4.2.6 Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство.
 - 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.
 - 4.3.2 Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.
 - 4.3.3 Пищевые системы.
2. Технический анализ рукописи осуществляется ответственным секретарем журнала, согласно требованиям для авторов, в трехдневный срок после представления рукописи в электронной форме (izvestiya-volgau@mail.ru) и передается на проверку отсутствия неправомерных и некорректных заимствований, определения объема оригинальности авторского текста в Центр наукометрического анализа международных систем индексирования (НАМСИ).
3. Проверка цитирований и ссылок на использованные источники, определение степени заимствования, обусловленного целями цитирования, объема **оригинальности** авторского текста осуществляется в трехдневный срок **по всем коллекциям** в системе Antiplagiat.ru. Допустимый объем цитирований (корректного правомерного заимствования) – не более 30 % от общего объема статьи (неправомерные заимствования не допускаются!) в соответствии с COPE.
4. Передача на рецензирование осуществляется зам. главного редактора после технического анализа и проверки оригинальности авторского текста, в течение трех дней. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Рецензирование статьи производится **независимыми экспертами** журнала (не менее 2) в течение не более 30 дней с момента получения рукописи. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания в течение 5 лет. При наличии существенных замечаний рукопись возвращается авторам с письменным перечислением замечаний, требующих устранения. В журнале используется двустороннее слепое рецензирование (double-blind reviewing): рецензент и автор не знают имён друг друга.
5. Повторное рецензирование осуществляется после представления варианта статьи, с устраненными замечаниями, в течение не более 30 дней. При трехкратном повторном возврате рукописи с замечаниями рецензента вопрос о ее принятии или отклонении решается на заседании редакционной коллегии.
6. Решение о публикации принимается в соответствии с Уставом редакции главным редактором на основе научных рецензий и мнения членов редколлегии. При принятии решения о публикации главный редактор руководствуется достоверностью представления данных и научной значимостью рассматриваемой работы.

7. В случае принятия решения о публикации в течение трех дней рукопись статьи передается в РИО и НТБ для корректуры и редактирования материала статьи, в том числе англоязычной части.

8. Рецензии предоставляются авторам рукописей и по запросам экспертных советов в ВАК. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ. Рукописи возврату не подлежат.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Оформление статьи должно соответствовать Межгосударственным и национальным стандартам Российской Федерации по издательскому делу.

Статья представляется в редакцию в электронной версии (в формате Word Windows), Статья должна иметь УДК (можно определить на сайте <http://teacode.com/online/udc/>). Количество авторов – не более четырех.

Статья набирается в текстовом процессоре Microsoft Word со следующими установками: поля страницы сверху, снизу – 2,4 см; слева, справа – 2,8 см. Стиль обычный. Шрифт – Arial, размер шрифта 10,5. Межстрочный интервал для текста – одинарный, для таблиц – одинарный, режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Абзацный отступ должен быть одинаковым по тексту – 1,27 см.

Рисунки, схемы, фотографии представляются в формате PDF, JPEG, TIFF с разрешением не ниже 300 dpi (сканировать таблицы, схемы, рисунки не допускается). Все рисунки должны быть четкими, надписи хорошо видны.

В статье помещаются: УДК, название статьи, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание автора (ов), аннотация, ключевые слова. Образец форматирования – на сайте журнала.

В статье следует четко выделять следующие составные части: **1 Введение (Introduction), 2 Материалы и методы (Materials and methods), 3 Результаты (Results), 4 Обсуждение (Discussion), 5 Заключение (Conclusions), 6 Библиографический список (References).**

Особое внимание следует уделить *полноте пристатейного библиографического списка* (не менее **12-15** источников, в том числе отражающих зарубежные исследования). При этом необходимо избегать **недобросовестного цитирования** (необоснованного «накручивания» цитат, а также самоцитирования), **некорректного цитирования** (неоправданного содержанием цитируемых статей). *Цитирование должно быть максимальным, но обоснованным. Недостаточное или избыточное цитирование снижает рейтинг журнала.*

В конце работы ставятся дата и подпись автора (авторов), приводятся сведения об авторе (авторах): место работы, факультет, кафедра, (отдел, научное подразделение), ученое звание, ORCID, контактные телефоны, почтовый и электронный адрес.

Авторы должны раскрывать в своей рукописи любой финансовый или какой-либо другой существенный конфликт интересов, который мог бы быть истолкован как влияющий на результаты оценки их рукописи. Все источники финансовой поддержки должны быть раскрыты.

Рекомендуемый объем статьи: **основной текст** (без названия, авторов, аннотации, ключевых слов и библиографического списка) – от **15 тыс.** знаков с пробелами (от 2000 слов), полный текст – от 30 тыс. знаков с пробелами (от 4000 слов) (**10-12** стр.).

ОФОРМЛЕНИЕ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

Библиографические ссылки на список литературы должны быть оформлены с указанием в строке текста в квадратных скобках цифрового порядкового номера. В случае ссылки на точную цитату – необходимо дополнительно указать через запятую номера соответствующих страниц, например, [7, с. 36].

Список литературы нумеруется в порядке упоминания в тексте, он должен быть оформлен в соответствии с рекомендованным АНРИ (Ассоциацией научных редакторов и издателей) международным стандартом Vancouver Style (образец – на сайте).

**RULES OF DIRECTION, REVIEW AND PUBLICATION
OF SCIENTIFIC ARTICLES 2025**

1. The content of the article should correspond to the specialties:
 - 4.1.1 General agriculture and crop production
 - 4.1.2 Breeding, seed production, plant biotechnology
 - 4.1.3 Agrochemistry, agro-soil science, plant protection and quarantine
 - 4.1.4 Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops
 - 4.1.5 Land reclamation, water management and agrophysics
 - 4.1.6 Forestry, forestry, forest crops, agroforestry, landscaping, forest ecology and taxation
 - 4.2.1 Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology
 - 4.2.2 Sanitation, hygiene, ecology, veterinary and sanitary expertise and biosafety
 - 4.2.3 Infectious diseases and animal immunology
 - 4.2.4 Private animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products
 - 4.2.5 Breeding, breeding, genetics and biotechnology of animals
 - 4.2.6 Fisheries, aquaculture and industrial fisheries
 - 4.3.1 Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex
 - 4.3.2 Electrical technologies, electrical equipment and power supply of agro-industrial complex
 - 4.3.3 Food systems
2. Technical analysis of the manuscript is carried out by the executive secretary of the journal, according to the requirements for the authors, within three days after the submission of the manuscript in electronic form (izvestiya-volgau@mail.ru) and is sent for verification of the absence of illegal borrowing, to determine the originality of the author's text to the Center for Scientometric Analysis International Indexing Systems (NAMSIS) (izvestplag@mail.ru).
3. Checking links to sources used, determining the degree of borrowing, the volume of originality of the author's text is carried out within three days for all collections in the Antiplagiat.ru system. The permissible volume of citations (correct legitimate borrowing) is no more than 30 % of the total volume of the article (illegal borrowing is not allowed!) In accordance with COPE.
4. Submission for review is carried out by the deputy after three days of technical analysis and verification of the originality of the author's text. The publication reviews all incoming materials that correspond to its subject with the purpose of their expert evaluation. Reviewing the article is carried out by independent experts of the journal (at least 2) within no more than 30 days from the date of receipt of the manuscript. All reviewers are recognized experts on the subject of peer-reviewed materials and have published over the past 3 years on the subject of a peer-reviewed article. Reviews are kept in the publishing house and in the editorial office of the publication for 5 years. If there are significant comments, the manuscript is returned to the authors with a written list of comments requiring elimination. The journal uses double-blind reviewing: the reviewer and the author do not know each other's names.
5. Repeated reviewing is carried out after the submission of a variant of the article, with the comments removed, for no more than 30 days. If the manuscript is returned three times with the comments of the reviewer, the question of its acceptance or rejection is decided at a meeting of the editorial board.
6. The decision to publish is made in accordance with the Editorial Charter by the editor-in-chief on the basis of scientific reviews and opinions of members of the editorial board. When deciding on publication, the editor-in-chief is guided by the reliability of the data presentation and the scientific significance of the work under consideration.
7. If a decision is made on publication within three days, the manuscript of the article is sent to RIO and NTB for proofreading and editing of the article's material, including the English-language part.
8. Reviews are provided to the authors of manuscripts and at the request of expert advice at the Higher Attestation Commission. In the event of a refusal to publish an article, the editorial office sends a motivated refusal to the author. Manuscripts are non-refundable.

ARTICLE REQUIREMENTS

The paper should comply with the Interstate and National Publishing Standards of the Russian Federation.

The article is submitted to the publishing and publishing center in printed form (on A4 sheets) in 2 copies with an electronic version attached (in Word Windows format) that completely matches the paper version. The article should have UDC (can be determined on the website <http://teacode.com/online/udc/>). The number of authors is not more than four.

The article is typed in a Microsoft Word word processor with the following settings: page margins above, below – 2.4 cm; left, right – 2.8 cm. The style is normal. Font – Arial, font size 10,5. Line spacing for text – single, for tables – single, alignment mode – width, hyphenation – automatic. The indent should be the same in the text – 1.27 cm.

Drawings, diagrams, photographs are presented in PDF, JPEG, TIFF format with a resolution of at least 300 dpi (scanning tables, diagrams, drawings is not allowed).

The article contains UDC, title of the article, initials and surname of the author (s), academic degree, and title of the author (s), abstract, keywords.

The following components should be clearly distinguished in the article: 1. Introduction, 2. Materials and methods, 3. Results, 4. Discussion, 5. Conclusions, 6. References.

Particular attention should be paid to the completeness of the bibliographic list (at least 12-15 sources, including those reflecting foreign studies). At the same time, it is necessary to avoid unscrupulous quoting (unreasonable "winding up" of quotes, as well as self-quoting), incorrect quoting (unjustified by the content of cited articles).

Quoting should be maximum, but reasonable. Inadequate or excessive citation reduces the rating of the journal.

At the end of the work, the date and signature of the author (s) are put; information about the author (s) is given: place of work, faculty, department, (department, scientific unit), academic rank, ORCID, contact numbers, postal and electronic address.

Authors should disclose in their manuscript any financial or any other significant conflict of interest that could be construed as affecting the results of the evaluation of their manuscript. All sources of financial support should be disclosed.

Recommended length of the article: the main text (without title, authors, annotation, keywords and bibliographic list) – from 15 thousand characters with spaces (from 2000 words), the full text – from 30 thousand characters with spaces (from 4000 words) (10-12 pages).

REGISTRATION OF BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Bibliographical references to the list of references must be formatted with the digital serial number indicated in the line of text in square brackets. In the case of a reference to an exact quote, you must additionally indicate the numbers of the corresponding pages, separated by commas, for example [7, p. 36].

The list of references is numbered in the order of mention in the text; it must be formatted in accordance with the international standard Vancouver Style recommended by ANRI.

**Известия
Нижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование № 3 (81), 2025**

Ответственный редактор – *Д. А. Шишлянникова*
Технический редактор – *Т. А. Ситникова*
Компьютерная верстка – *Е. С. Дергачева*
Перевод – *Н. В. Тураева*

Реестровая запись: серия ПИ № ФС77-80865 выдано 23.04.2021
Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Издается с 1997 г. Выходит 6 раз в год.

Подписной индекс ПП573
Адрес издателя и редакции: 400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.
Электронная почта izvestiya-volgau@mail.ru
Дата выхода 06.06.2025.
Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 138.
Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе Волгоградского ГАУ «Нива»
400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.

Цена свободная

* * *

**Proceedings
of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
Science and higher vocational education № 3 (81), 2025**

Executive editor – *D. A. Shishlyannikova*
Technical editor – *T. A. Sitnikova*
Desktop publishing – *E. S. Dergacheva*
Translation – *N. V. Turaeva*

Registry entry: PI series no. FS77-80865 issued on 23.04.2021
Federal Service for Supervision of Communications,
Information technology and mass communications
Published since 1997. Published 6 times a year.

Subscription Index ПП573
Address of publisher and editorial staff: 400002, Volgograd, University Avenue, 26
E-mail: izvestiya-volgau@mail.ru
Release Date 06.06.2025.
Edition 1000 (first factory 100). Order 138.
Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price