

ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 3 (75), 2024

Группы специальностей:

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

Волгоград
Волгоградский ГАУ
2024

PROCEEDINGS

OF NIZHNEVOLZSKIY AGROUNIVERSITY COMPLEX:

SCIENCE AND HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

№ 3 (75), 2024

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
2024

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный аграрный
университет**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 3 (75), 2024***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
Volograd state
agrarian university**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 3 (75), 2024***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 (75), 2024**

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:

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

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 (75), 2024**

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
<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 (сель-
скохозяйственных) наук, профессор, зам. дирек-
тора по науке, Институт животноводства,
г. Белград, Земун (Сербия)

Сейдави Алиреза, доктор наук, профессор кафед-
ры кормления с.-х. животных факультета зоо-
технии, гл. редактор Иранского журнала при-
кладной 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 госу-
дарственного аграрного университета, г. Таш-
кент (Узбекистан)
<http://agriculture.uz/ru.php?scientists/detail/28>

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

Шаговнович Драган А., директор Института эко-
номики, Белград (Сербия)
[http://www.ecinst.org.rs/sites/default/files/page-
files/dragan-sagovnovic-eng.pdf](http://www.ecinst.org.rs/sites/default/files/page-files/dragan-sagovnovic-eng.pdf)

Шеварлич Миладин М., доктор агроэкономиче-
ских наук, профессор экономики сельского хо-
зяйства и кооперативов, заведующий кафедрой
экономики сельского хозяйства и рынка Бел-
градского университета, председатель Общества
агроэкономистов Сербии (Сербия)

Шилерова Эдита, Ph.D., член Академического сена-
та Чешского земледельческого университета в Праге
[http://wp.czu.cz/cs/index.php/?r=1071&mp=
person.info&idClovek=39](http://wp.czu.cz/cs/index.php/?r=1071&mp=person.info&idClovek=39)

Щедрин В.Н., академик РАН, доктор техниче-
ских наук, профессор

Ятусевич А.И., академик РАН, доктор ветери-
нарных 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 (agri-
cultural 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, Di-
rector of the Science and Technology Division of
the Islamic Azad University, Rasht Branch (Iran)

Semenenko S.Ya., Doctor of Agricultural Sci-
ences, Professor, Chief Researcher, VNIIOZ

Sulaimonov B.A., academician of the Acad-
emy of Sciences of the Republic of Uzbeki-
stan, Doctor of Biological Sciences, Rector of
the Tashkent State Agrarian University, Tash-
kent (Uzbekistan)

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

Shagovnovich Dragan A., Director of the In-
stitute of Economics, Belgrade (Serbia)

Shevarlich Miladin M., Doctor of Agricultural
Economics, Professor of Agricultural Eco-
nomics and Cooperatives, Head of the De-
partment of Agricultural Economics and Mar-
ket, University of Belgrade, Chairman of the
Society of Agro-Economists of Serbia (Serbia)

Shilerova Edith, Ph.D., member of the Aca-
demic Senate of the Czech Agricultural Uni-
versity 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

Tutyuma 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

Chamurliev 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

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

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 VNIOZ, 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

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

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

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

4.3.3. Пищевые системы (биологические науки)

4.3.3. Food systems (biological sciences)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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: 10.32786/2071-9485-2024-03-01

**EFFICIENCY OF FODDER CROP ROTATIONS IN THE CONDITIONS
OF KHARABALINSKY AND LIMANSKY DISTRICTS OF THE ASTRAKHAN REGION**¹Tyutyuma N. V., ²Aitpayeva A. A., ³Voronov S. I., ¹Bulakhtina G. K.¹Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Soleno Zaimishche, Astrakhan Region, Russian Federation²Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering
Astrakhan, Russian Federation³Federal Research Center «Nemchinovka»
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: arman.bisaliyev2012@yandex.ru

Received 15.04.2024

Submitted 30.05.2024

Abstract

Introduction. The relevance of the research is determined by the need to introduce forage crop rotations in the arid zone, which are the basis for creating a full-fledged food supply, improving soil-forming processes, and preventing mass desertification of lands. **Object.** The object of the study is forage crop rotations developed for the conditions of the Kharabalinsky and Limansky regions – regional leaders in the production of potato monoculture. **Materials and methods.** The study used methods of systemic and complex analysis. Experimental research included the development and testing of schemes for scientifically based crop rotation in crop rotations. **The research results** showed that in the Kharabalinsky district of the Astrakhan region, a crop rotation consisting of three fields of alfalfa, one field of potatoes and one field of barley (option 3) had an advantage in yield, metabolic energy content, accumulation of organic matter in the soil and economic efficiency, which is higher the indicated indicators were significantly superior to the control option, which included 3 potato fields and 2 fallow fields, and option 2, represented by 3 alfalfa fields and 2 potato fields. In the Limansky district of the Astrakhan region, in terms of yield, metabolic energy content, accumulation of organic matter in the soil and economic efficiency, a crop rotation consisting of three fields of alfalfa, one field of winter wheat and one field of potatoes (option 3) showed higher indicators compared to the control option, consisting of 3 potato fields and 2 fallow fields and option 2, represented by 3 alfalfa fields and 2 potato fields. The profitability from the introduction of grass-grain-row crop rotation in the Kharabalinsky district of the Astrakhan region was 35% and turned out to be 1.1-1.4 times higher compared to the control option and option 2, respectively. The profitability from the introduction of grass-grain-row crop rotation in the Limansky district reached 30% and was 1.2-1.5 times higher compared to the control option and option 2, respectively.

Keywords: forage crop rotations, arid zone, fodder production, soil fertility.**Citation.** Tyutyuma N. V., Aitpaeva A. A., Voronov S. I., Bulakhtina G. K. Efficiency of fodder crop rotations in the conditions of Kharabalinsky and Limansky districts of the Astrakhan region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 13-23 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-01.**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.**Acknowledgments.** We express our gratitude to Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences Ivan Panteleevich Kruzhihin for valuable comments during the research and preparation of the article.

УДК 636.086.416(083)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРМОВЫХ СЕВОБОРОТОВ В УСЛОВИЯХ ХАРАБАЛИНСКОГО И ЛИМАНСКОГО РАЙОНОВ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ¹Тютюма Н. В., доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН²Айтпаева А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент³Воронов С. И., доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор¹Булахтина Г. К., кандидат сельскохозяйственных наук¹ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН»

с. Солёное Займище, Астраханская область, Российская Федерация

²ГБОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет»

г. Астрахань, Российская Федерация

³Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

г. Москва, Российская Федерация

Актуальность исследований определяется необходимостью внедрения кормовых севооборотов в аридной зоне, являющихся основой создания полноценной кормовой базы, улучшения почвообразовательных процессов, предотвращения массового опустынивания земель. **Объект.** Объектом исследования являются кормовые севообороты, разработанные для условий Харабалинского и Лиманского районов – региональных лидеров в производстве монокультуры картофеля. **Материалы и методы.** В исследовании использовались методы системного и комплексного анализа. Экспериментальные исследования включали в себя разработку и апробацию схем научно обоснованного чередования культур в севооборотах. **Результаты исследований** показали, что в Харабалинском районе Астраханской области преимущество по урожайности, содержанию обменной энергии, накоплению органического вещества в почве и экономической эффективности имел севооборот, состоящий из трех полей люцерны, одного поля картофеля и одного поля ячменя (вариант 3), который по выше обозначенным показателям значительно превосходил контрольный вариант, включающий в себя 3 поля картофеля и 2 поля залежи и вариант 2, представленный 3-мя полями люцерны и 2-мя полями картофеля. В Лиманском районе Астраханской области по урожайности, содержанию обменной энергии, накоплению органического вещества в почве и экономической эффективности севооборот, состоящий из трех полей люцерны, одного поля озимой пшеницы и одного поля картофеля (вариант 3), продемонстрировал более высокие показатели по сравнению с контрольным вариантом, состоящим из 3 полей картофеля и 2 полей залежи и вариантом 2, представленным 3-мя полями люцерны и 2-мя полями картофеля. Рентабельность от внедрения травяно-зерно-пропашного севооборота в Харабалинском районе Астраханской области составила 35% и оказалась в 1,1-1,4 раза выше по сравнению с контрольным вариантом и вариантом 2 соответственно. Рентабельность от внедрения травяно-зерно-пропашного севооборота в Лиманском районе достигла уровня 30% и была в 1,2-1,5 раза выше по сравнению с контрольным вариантом и вариантом 2 соответственно.

Ключевые слова: кормовые севообороты, аридная зона, кормопроизводство, плодородие почвы.

Цитирование. Тютюма Н. В., Айтпаева А. А., Воронов С. И., Булахтина Г. К. Эффективность кормовых севооборотов в условиях Харабалинского и Лиманского районов Астраханской области. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 13-23. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-01.

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.

Благодарности. Выражаем благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору, академику РАН Кружилину Ивану Пантелеевичу за ценные замечания в рамках проведения исследований и подготовки статьи.

Введение. Волго-Ахтубинская пойма и дельта Волги – уникальные по своим почвенно-климатическим характеристикам зоны, способные продуцировать значительное количество кормов и другой сельскохозяйственной продукции в Астраханской области.

Изучению теоретических аспектов повышения эффективности производства и использования кормов посвящены работы С. К. Абеуова [1]; Н. В. Тютюмы, А. А. Айтпаевой, О. Н. Беспаловой [2]; Тимофеевой Г. В., Акмаевой Р. И. [3]; А. И. Беленкова [4]; Л. В. Карповой [5] и др. Большинство авторов отмечают, что правильно подобранные севообороты оказывают благоприятное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, содержание обменной энергии в урожае и почвенное плодородие [6-8].

Материалы и методы исследований. Цель исследований сводилась к изучению эффективности кормовых севооборотов в условиях Харабалинского и Лиманского районов Астраханской области. **Задачи исследований** предусматривали изучение севооборотов в трехкратной ротации, оценку уровня урожайности зеленой массы, определение содержания обменной энергии в урожае. Опыты закладывались в Харабалинском и Лиманском районах Астраханской области в период с 2008 по 2022 гг. согласно методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами (Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. – М., 1987. – 197 с.) и методике полевого опыта Б. А. Доспехова [9]. В исследовании использовались методы системного и комплексного анализа.

Результаты. Харабалинский район на протяжении многих лет является лидером в Астраханской области по производству раннего и позднего картофеля. Территория проведения экспериментальных опытов представлена серо-бурыми полупустынными почвами. По гранулометрическому составу почва преимущественно легкий суглинок. Содержание гумуса в пахотном слое 0-20 см – менее 1%. Рельеф опытного участка ровный. Исследование севооборотов (таблица 1-3) осуществлялось в период с 2008 по 2022 гг. с учетом складывающихся погодных и почвенно-климатических условий Харабалинского района.

В большинстве хозяйств района преимущество получил севооборот, выступающий в наших исследованиях в качестве контрольного варианта и включающий в себя 3 поля картофеля и 2 поля залежи (таблица 1).

Таблица 1 – Схема севооборота для условий Харабалинского района Астраханской области (вариант 1 контроль)

Table 1 – Crop rotation scheme for the conditions of the Kharabalinsky district Astrakhan region (option 1)

№ поля / № fields	Культура / Culture	Площадь, га / Area, ha
1	Картофель / Potato	10
2	Картофель / Potato	10
3	Картофель / Potato	10
4	Залежь / Deposit	10
5	Залежь / Deposit	10
Итого / Total		50

В нулевые годы основная ориентация крестьянско-фермерских хозяйств на производство картофеля в ущерб другим культурам была обусловлена необоснованно высокими закупочными ценами на него, в несколько раз превышающими реальные затраты на производство. В отдельные годы рентабельность картофелеводческих хозяйств достигала 150-200% и выше. Вместе с тем монокультура картофеля отрицательно сказалась на почвенном плодородии рассматриваемого района. Резкое снижение урожайности картофеля при повторных посадках, несмотря на повышенные дозы внесения минеральных удобрений, вынуждает сельхозтоваропроизводителей искать пути выхода из сложившейся ситуации, одним из которых является внедрение научно-обоснованных севооборотов с насыщением их многолетними бобовыми травами, способными к азотфиксации и накоплению азота в почве. Один из таких севооборотов, включающих в себя 3 поля люцерны и 2 поля картофеля, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Схема кормового севооборота для условий Харабалинского района Астраханской области (вариант 2)

Table 2 – Scheme of forage crop rotation for the conditions of the Kharabalinsky district Astrakhan region (option 2)

№ поля / № fields	Культура / Culture	Площадь, га / Area, ha
1	Люцерна / Alfalfa	10
2	Люцерна / Alfalfa	10
3	Люцерна / Alfalfa	10
4	Картофель / Potato	10
5	Картофель / Potato	10
Итого / Total		50

В то же время для преодоления отрицательного баланса гумуса в ближайшие годы крестьянско-фермерским хозяйствам региона следует избегать повторных посадок картофеля и расширять посевы других культур, например зерновых (таблица 3), эффективность которых в севооборотах Харабалинского района Астраханской области была доказана результатами полевых опытов в период с 2008 по 2022 гг.

Таблица 3 – Схема кормового севооборота для условий Харабалинского района Астраханской области (вариант 3)

Table 3 – Scheme of forage crop rotation for the conditions of the Kharabalinsky district Astrakhan region (option 3)

№ поля / № fields	Культура / Culture	Площадь, га / Area, ha
1	Люцерна / Alfalfa	10
2	Люцерна / Alfalfa	10
3	Люцерна / Alfalfa	10
4	Картофель / Potato	10
5	Ячмень / Barley	10
Итого / Total		50

Изучение трех выше обозначенных севооборотов предусматривало 3 ротации.

По результатам 15-летнего изучения была произведена оценка урожайности и содержания обменной энергии в продукции, представленная в таблице 4.

Результаты исследований наглядно продемонстрировали преимущество севооборота, состоящего из трех полей люцерны, одного поля картофеля и одного поля ячменя (вариант 3), над контрольным вариантом, включающим в себя 3 поля картофеля и 2 поля залежи и вариантом 2, представленном 3-мя полями люцерны и 2-мя полями картофеля. Анализ результатов эксперимента показал, что повторные посадки картофеля, несмотря на последующий отдых земли в качестве залежи не обеспечивают роста урожайности и эффективного использования пахотных земель в Харабалинском районе Астраханской области. Реализация севооборота, включающего в себя люцерну и повторные посадки картофеля (вариант 2), является более выгодной по сравнению с контрольным вариантом, однако вариант 2 уступает по урожайности и выходу обменной энергии севообороту, где исключаются повторные посадки картофеля за счет его замены на зерновые культуры в частности ячмень (вариант 3).

Харабалинский район Астраханской области частично располагается в Волго-Ахтубинской пойме и является одним из лидеров в производстве картофеля, люцерны на сено, говядины и баранины.

Вместе с тем в рассматриваемом районе остро назрела проблема деградации почвенного плодородия из-за монокультуры картофеля.

Более 50% пашни требуют проведения восстановительных мероприятий. Одной из таких мер является внедрение системы кормовых севооборотов на основе люцерны и зерновых культур.

Исследования, проведенные в различных почвенно-климатических зонах, показали, что состав и структура кормовых севооборотов оказывают различное влияние на улучшение почвообразовательных процессов в почвах опытных участков.

В настоящее время в Астраханской области ситуация с почвенным плодородием остается сложной, что во многом обусловлено разрушением системы научно-обоснованных севооборотов.

Наибольшее увеличение содержания гумуса в почвах Харабалинского района отмечено при внедрении севооборота, состоящего из 5 полей, 3 из которых заняты люцерной, одно поле – картофелем и одно поле – ячменем (таблица 5). В среднем за год изменение содержания гумуса составило 0,0013%. Во многом рост содержания гумуса после внедрения рассматриваемого севооборота обусловлен тем, что доля люцерны в его структуре превышает 50%.

Таблица 4 – Суммарный выход продукции с 1 га (т) и содержание обменной энергии, МДж/га
(3 севооборота, Харабалинский район)

Table 4 – Total production yield per 1 ha (t) and exchangeable energy content, MJ/ha
(3 crop rotations, Kharabalinsky district)

Вариант / Variant	2008-2012		2013-2017		2018-2022	
	Урожай- ность, т/га / Yield, t/ha	Содержание обменной энер- гии, МДж / Metabolic energy content, MJ	Урожай- ность, т/га / Yield, t/ha	Содержание обменной энергии, МДж / Metabolic energy content, MJ	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Содержание обменной энергии, МДж / Metabolic energy content, MJ
Вариант 1						
Контроль /						
1 Control						
1 поле	27	75600	30	84000	24	67200
картофель / 1						
field potatoes						
2 поле	24	67200	27	75600	22	61600
Картофель / 2						
field potatoes						
3 поле	21	58800	23	64400	20	56000
Картофель / 3						
field potatoes						
4-5 поле						
Залежь / 4-5 field						
fallow						
Итого / Option		201600		224000		184800
Вариант 2						
1 поле люцерна /	20	39995	22	43995	18	35996
1 alfalfa field						
2 поле люцерна /	25	49994	27	53994	22	43995
2 alfalfa field						
3 поле люцерна /	23	45995	24	47994	20	39995
3 alfalfa field						
4 поле	30	84000	35	98000	28	78400
картофель / 4						
potato field						
5 поле	24	67200	27	75600	22	61600
картофель /						
5 potato field						
Итого / Option		287184		319583		259986
Вариант 3						
1 поле люцерна /	25	49994	28	55994	23	45995
1 alfalfa field						
2 поле люцерна /	31	61993	34	67992	28	55994
2 alfalfa field						
3 поле люцерна /	28	55994	32	63993	26	51994
3 alfalfa field						
4 поле	36	100800	38	106400	35	98000
картофель /						
4 potato field						
5 поле ячмень /	3,5	39130	3,8	42484	3,3	36894
5 barley field						
Итого / Option		307911		336863		288877

В целом следует отметить, что изначально содержание гумуса было минимальным в почвах опытного участка Харабалинского района (0,86% в слое 0-20 см).

Вместе с тем пороговые значения содержания гумуса в почвах Астраханской области в разрезе районов за последние 30 лет претерпели существенные изменения в сторону уменьшения.

Переход от многопольной системы севооборотов на трехпольную негативно отразился на почвенном плодородии, обусловил проявление отрицательного баланса гумуса и привел к необходимости возрождения системы кормовых севооборотов по зонам региона [11].

Дальнейшее насыщение севооборотов многолетними бобовыми травами, в частности люцерной, положительно повлияет на рост содержания гумуса и благоприятно отразится на почвообразовательных процессах в целом [11].

Таблица 5 – Динамика изменения гумуса в пахотном слое 0-20 см в зависимости от вида севооборота
Table 5 – Dynamics of changes in humus in the 0-20 cm arable layer depending on the type of crop rotation

Вид севооборота / Type of crop rotation	Район / District	Структура посевов, % / Crop structure, %			Содержание гумуса, % / Humus content, %		Изменения, +/- / Changes, +/-	
		Зерновые и зернобобовые / Cereals and leguminous grains	Пропашные / Row crops	Многолетние травы / Multi-year grasses	Исходное / Original	Конечное / End	За весь период / For the entire period	В среднем за год / Average per year
Пропашной / Row crop	Харабалинский / Kharabalinskiy	-	60	-	0,87	0,86	-0,01	-0,0007
Травяно-пропашной / Grass-row	Харабалинский / Kharabalinskiy	-	40	60	0,97	0,98	+0,01	+0,0007
Травяно-зернопропашной / Grass Grain	Харабалинский / Kharabalinskiy	20	20	60	0,99	1,01	+0,02	+0,0013

Данные, представленные в таблицах 1-5, подтверждаются сравнительной экономической эффективностью (таблица 6).

Таблица 6 – Сравнительная экономическая эффективность севооборотов в Харабалинском районе Астраханской области

Table 6 – Comparative economic efficiency of crop rotations in the Kharabalinsky district of the Astrakhan region

Показатели / Indicators	5-типольный севооборот Контроль / 5-field crop rotation control	5-типольный севооборот / 5-field crop rotation	5-типольный севооборот / 5-field crop rotation
Состав севооборота / Composition of the crop rotation	1. Картофель / Potato 2. Картофель / Potato 3. Картофель / Potato 4. Залежь / Deposit 5. Залежь / Deposit	1. Люцерна / Alfalfa 2. Люцерна / Alfalfa 3. Люцерна / Alfalfa 4. Картофель / Potato 5. Картофель / Potato	1. Люцерна / Alfalfa 2. Люцерна / Alfalfa 3. Люцерна / Alfalfa 4. Картофель / Potato 5. Ячмень / Barley
Затраты из расчета на 1 га, тыс.руб / Costs per 1 ha, thousand rubles	120	122	92
Выручка из расчета на 1 га, тыс.руб / Revenue per 1 hectare, thousand rubles	150	160	124
Прибыль из расчета на 1 га, тыс.руб / Profit per 1 ha, thousand rubles	30	38	32
Экономическая эффективность, руб прибыли/рубль затрат / Economic efficiency, RUB profit/RUB of costs	0,25	0,31	0,35
Рентабельность, % / Profitability, %	25	31	35

По сравнению с контрольным вариантом эффективность рассматриваемых севооборотов оказалась в 1,13-1,40 раза выше.

Таким образом, внедрение кормовых севооборотов в условиях Харабалинского района Астраханской области не только положительно сказывается на почвенном плодородии за счет насыщения их многолетними бобовыми травами, в частности люцерной, но и значительно улучшает результативные финансово-экономические показатели деятельности хозяйств, специализирующихся на производстве кормов и развитии скотоводческих отраслей.

Лиманский район наряду с Харабалинским длительный период времени являлся лидером в производстве раннего и позднего картофеля, цены на который до последнего времени держались на уровне от 30-40 рублей за килограмм (ранний картофель) до 25-30 рублей за килограмм (поздний картофель).

С учетом складывающихся погодных и почвенно-климатических условий Лиманского района исследование севооборотов (таблица 7-9) осуществлялось в период с 2008 по 2022 гг.

Первый севооборот, представляющий собой контрольный вариант включал в себя 3 поля картофеля и 2 поля залежи (таблица 7).

Таблица 7 – Схема севооборота для условий Лиманского района Астраханской области
(вариант 1 контроль)

Table 7 – Crop rotation scheme for the conditions of the Limansky district Astrakhan region (option 1 control)

№ поля / field	Культура / Culture	Площадь, га / Area, ha
1	Картофель / Potato	10
2	Картофель / Potato	10
3	Картофель / Potato	10
4	Залежь / Deposit	10
5	Залежь / Deposit	10

Второй севооборот состоял из 3 полей люцерны и 2 полей картофеля (таблица 8).

Таблица 8 – Схема кормового севооборота для условий Лиманского района Астраханской области
(вариант 2)

Table 8 – Scheme of forage crop rotation for the conditions of the Limansky district Astrakhan region

№ поля / field	Культура / Culture	Площадь, га / Area, ha
1	Люцерна / Alfalfa	10
2	Люцерна / Alfalfa	10
3	Люцерна / Alfalfa	10
4	Картофель / Potato	10
5	Картофель / Potato	10
Итого / Total		50

Третий севооборот предусматривал включение в него наряду с люцерной и картофелем озимой пшеницы (таблица 9). Озимая пшеница, возделываемая на орошении, для засушливых условий Юга России является гарантом получения стабильных урожаев зерна в любой по погодным условиям год [12].

Таблица 9 – Схема кормового севооборота для условий Лиманского района Астраханской области
(вариант 3)

Table 9 – Scheme of forage crop rotation for the conditions of the Limansky district Astrakhan region
(option 3)

№ поля / field	Культура / Culture	Площадь, га / Area, ha
1	Люцерна / Alfalfa	10
2	Люцерна / Alfalfa	10
3	Люцерна / Alfalfa	10
4	Озимая пшеница / Winter wheat	10
5	Картофель / Potato	10
Итого / Total		50

Изучение трех выше обозначенных севооборотов включало 3 ротации.

По результатам 15-летнего изучения была произведена оценка урожая и содержания обменной энергии в нем, представленная в таблице 10.

Таблица 10 – Суммарный выход продукции с 1 га (т) и содержание обменной энергии, МДж/га
(3 севооборота, Лиманский район)

Table 10 – Total production yield per 1 ha (t) and exchangeable energy content, MJ/ha
(3 crop rotations, Limansky district)

Вариант / Variant	2008-2012		2013-2017		2018-2022	
	Урожай- ность, т/га / Yield, t/ha	Содержание обменной энергии, МДж / Metabolic energy content, MJ	Урожай- ность, т/га / Yield, t/ha	Содержание обменной энергии, МДж / Exchangeable energy content, MJ	Урожай- ность, т/га / Yield, t/ha	Содержание обменной энер- гии, МДж / Metabolic energy content, MJ
Вариант 1. Контроль / 1. Control						
1 поле картофель / 1 field potato	25	70000	28	78400	23	64400
2 поле картофель / 2 field potato	23	64400	25	70000	21	58800
3 поле картофель / 3 field potato	20	56000	23	64400	19	53200
4-5 поле Залежь / 4-5 field fallow						
Итого / Total		190400		212800		176400
Вариант 2						
1 поле люцерна / 1 alfalfa field	22	43995	25	49994	20	39995
2 поле люцерна / 2 alfalfa field	28	55994	30	59993	26	51994
3 поле люцерна / 3 alfalfa field	25	49994	28	55994	23	45995
4 поле картофель / 4 potato field	28	78400	33	92400	25	70000
5 поле картофель / 5 potato field	22	61600	25	70000	20	56000
Итого / Total		289983		328381		263984
Вариант 3						
1 поле люцерна / 1 alfalfa field	27	53994	33	65992	25	49994
2 поле люцерна / 2 alfalfa field	37	73992	38	75991	32	63993
3 поле люцерна / 3 alfalfa field	32	63993	36	71992	28	55994
4 поле озимая пшеница / 4 winter wheat field	4,6	43612	4,8	45508	4,5	42664
5 поле картофель / 5 potato field	35	98000	37	103600	33	92400
Итого / Total		333591		363083		305045

Анализ таблицы 10 показал, что из трех рассматриваемых севооборотов преимущество по содержанию обменной энергии в урожае получил севооборот, состоящий из трех полей люцерны, одного поля озимой пшеницы и одного поля картофеля.

Наибольшее увеличение содержания гумуса в почвах Лиманского района отмечено при внедрении севооборота, состоящего из 5 полей, 3 из которых заняты люцерной, одно поле озимой пшеницей и одно поле картофелем (таблица 11). В среднем за год изменение содержания гумуса составило 0,0017%. Во многом рост содержания гумуса после внедрения рассматриваемого севооборота обусловлен тем, что доля люцерны в его структуре превышает 50%.

Таблица 11 – Динамика изменения гумуса в пахотном слое 0-20 см в зависимости от вида севооборота
Table 11 – Dynamics of changes in humus in the 0-20 cm arable layer depending on the type of crop rotation

Вид севооборота / Type of crop rotation	Район / District	Структура посевов, % / Crop structure, %			Содержание гумуса, % / Humus content, %		Изменения, +/- / Changes, +/-	
		Зерновые и зернобобовые / Cereals and leguminous grains	Пропашные / Row crops	Многолетние травы / Multi-year grasses	Исходное / Original	Конечное / End	За весь период / For the entire period	В среднем за год / Average per year
Пропашной / Row crop	Лиманский / Limansky	-	60	-	0,59	0,58	-0,01	-0,0007
Травяно-пропашной / Grass no-row	Лиманский / Limansky	-	40	60	0,65	0,66	+0,01	+0,0007
Травяно-зерно-пропашной / Grass but-grain-row	Лиманский / Limansky	20	20	60	0,67	0,69	+0,02	+0,0017

В целом следует отметить, что изначально содержание гумуса было минимальным в почвах опытного участка Лиманского района (0,58% в слое 0-20 см).

Анализ таблицы 12 показал эффективность травяно-зерно-пропашного севооборота по сравнению с пропашным и травяно-пропашным севооборотами. Так, например, рентабельность от внедрения травяно-зерно-пропашного севооборота составила 30%, или в 1,2-1,5 раза выше по сравнению с травяно-пропашным и пропашным севооборотами соответственно.

Таблица 12 – Сравнительная экономическая эффективность севооборотов в Лиманском районе Астраханской области

Table 12 – Comparative economic efficiency of crop rotations in the Limansky district of the Astrakhan region

Показатели / Indicators	5-типольный севооборот Контроль / 5-field crop rotation control	5-типольный севооборот / 5-field crop rotation	5-типольный севооборот / 5-field crop rotation
1	2	3	4
Состав севооборота / Composition of the crop rotation	1. Картофель / Potato 2. Картофель / Potato 3. Картофель / Potato 4. Залежь / Deposit 5. Залежь / Deposit	1. Люцерна / Alfalfa 2. Люцерна / Alfalfa 3. Люцерна / Alfalfa 4. Картофель / Potato 5. Картофель / Potato	1. Люцерна / Lucerne 2. Люцерна / Lucerne 3. Люцерна / Lucerne 4. Озимая пшеница / Winter wheat 5. Картофель / Potato
Затраты из расчета на 1 га, тыс. руб / Costs per 1 hectare, thousand rubles	125	128	97

Окончание таблицы 12

1	2	3	4
Выручка из расчета на 1 га, тыс.руб / Revenue per 1 hectare, thousand rubles	150	160	126
Прибыль из расчета на 1 га, тыс.руб / Profit per 1 ha, thousand rubles	25	32	29
Экономическая эффективность, руб прибыли/рубль затрат / Economic efficiency, RUB profit/RUB of costs	0,2	0,25	0,30
Рентабельность, % / Profitability, %	20	25	30

Выводы. Таким образом, замена монокультуры картофеля на кормовые севообороты, апробированные по зонам региона, является жизненно необходимой мерой, направленной на сохранение почвенного плодородия, преодоления тенденции отрицательного баланса гумуса, обеспечение полноценной кормовой базы запланированному поголовью сельскохозяйственных животных в целях решения проблемы продовольственной безопасности региона по молоку и говядине.

Conclusions. Thus, replacing the potato monoculture with forage crop rotations, tested in the zones of the region, is a vital measure aimed at preserving soil fertility, overcoming the tendency of a negative humus balance, providing a complete feed base for the planned number of farm animals in order to solve the problem of food security in the region for milk and beef.

Библиографический список

1. Абеуов С. К. Поливидовые посевы, особенности единства и противоречий. Потенциал современной науки. 2014. № 6. С. 10-13.
2. Тютюма Н. В., Айтпаева А. А., Беспалова О. Н. Устойчивое развитие кормопроизводства как основа наращивания животноводческой продукции в регионе. АгроЭкоИнфо. 2022. № 4 (52).
3. Timofeeva G. V., Akmaeva R. I., Aitpaeva A. A. Strategic directions of development of dairy cattle breeding in the region in the conditions of modern challenges. Competitive, sustainable and safe development of the regional economy: response to global challenges. Volgograd, 2019. V. 39. <https://www.atlantispress.com/proceedings/cssdre-19/125909685>.
4. Беленков А. И. Взаимосвязь агрофизических показателей плодородия почвы и урожайности викоовсяной смеси в полевым опыте ЦТЗ. Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: сборник докладов междунар. науч.-практич. конф. М., 2017. С. 37-39.
5. Карпова Л. В. Продуктивность и кормовая ценность зернобобовых культур при выращивании на разных фонах питания. Нива Поволжья. 2010. № 3. С. 23-26.
6. Банкрутенко А. В., Мансапова А. И., Елисеева Н. С. Кормовые бобы в системе севооборотов. Аграрная Россия. 2018. № 2. С. 3-6.
7. Борисов В. А., Разин О. А., Васючков И. Ю., Успенская О. Н. Перспективы развития органического овощеводства в Российской Федерации. Аграрная Россия. 2018. № 9. С. 30-34.
8. Крючков М. М., Потапова Л. В., Ступин А. С., Новиков Н. Н. Основные элементы адаптивной системы земледелия рязанской области. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2013. № 2 (18). С. 27-29.
9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.
10. 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.
11. Плескачев Ю. Н., Костин М. В. Деградация земель в Нижнем Поволжье. Полевые исследования. 2020. № 7. С. 124-133.
12. Шульмейстер К. Г., Лисниченко И. И., Смирнов И. И. Улучшение полевых севооборотов на Юго-Востоке Европейской части страны. Вестник с.-х. науки. 1990. № 2. С. 126-133.

References

1. Abeuov S. K. Multispecies crops, features of unity and contradictions. Potential of modern science. 2014. No. 6. Pp. 10-13.
2. Tyutyuma N. V., Aitpaeva A. A., Bepalova O. N. Sustainable development of feed production as the basis for increasing livestock production in the region. AgroEcolInfo. 2022. No. 4 (52).
3. Timofeeva G. V., Akmaeva R. I., Aitpaeva A. A. Strategic directions of development of dairy cattle breeding in the region in the conditions of modern challenges. Competitive, sustainable and safe development of the regional economy: response to global challenges. Volgograd, 2019. V. 39. <https://www.atlantispress.com/proceedings/cssdre-19/125909685>.
4. Belenkov A. I. The relationship between agrophysical indicators of soil fertility and the yield of vetch-oat mixture in the field experiment of TsTZ. Agroecological problems of soil science and agriculture: collection of reports of the international scientific-practical conference. M., 2017. Pp. 37-39.

5. Karpova L. V. Productivity and feed value of leguminous crops when grown on different nutritional backgrounds. *Niva Povolzh'ye*. 2010. No. 3. Pp. 23-26.
6. Bankrutenko A. B., Mansapova A. I., Elisabeva N. C. Feed beans in the crop rotation system. *Agrarian Russia*. 2018. № 2. Pp. 3-6.
7. Borisov V. A., Razin O. A., Vasyuchkov I. Y., Uspenskaia O. N. Prospects for the development of organic vegetable production in the Russian Federation. *Agrarian Russia*. 2018. № 9. Pp. 30-34.
8. Kryuchkov M. M., Potapova L. B., Stupin A. C., Novikov N. N. The main elements of the adaptive system of agriculture of the Ryazan region. *Journal of Ryazan State Agrotechnological University*. P. A. Kostychev. 2013. № 2 (18). Pp. 27-29.
9. Dospehov B.A. Methodology of field experience. M.: Kolos, 1985. 351 p.
10. Belyakov A. M., Nazarova M. V. Sowing structure as a factor in the ecological balance of agricultural landscapes in the arid zone of southern Russia. *Scientific and Agronomic Journal*. 2020. No. 3 (110). Pp. 31-37.
11. Pleskachev Yu. N., Kostin M. V. Land degradation in the Lower Volga region. *Field research*. 2020. No. 7. Pp. 124-133.
12. Shulmeister K. G., Lisnichenko I. I., Smirnov I. I. Improving field crop rotations in the South-East of the European part of the country. *Bulletin of agriculture. Sciences*. 1990. No. 2. Pp. 126-133.

Информация об авторах

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

Айтпаева Айгуль Алдунгаровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент по специальности «Экономика и управление народным хозяйством», доцент кафедры «Экспертиза, эксплуатация и управление недвижимостью», начальник управления научно-исследовательской работы и международных связей Астраханского государственного архитектурно-строительного университета (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18.); научный сотрудник ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8), ORCID 0000-0003-3898-5813, e-mail: arman.bisalieva2012@yandex.ru

Воронов Сергей Иванович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026, г. Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8103-3909, e-mail: vsi08@mail.ru

Булахтина Галина Константиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, отдел рационального природопользования, заведующий отделом, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8), ORCID 0000-0001-8949-8666, e-mail: gbulaht@mail.ru

Author's Information

Tyutyuma Natalya Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal State Budgetary Institution "PAFSC RAS" (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID ID 0000-0001-6582-2628, e-mail: pniiiaz@mail.ru

Aitpayeva Aigul Aldungarovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor in the specialty "Economics and Management of the National Economy", Associate Professor of the Department of "Expertise, Operation and Management of Real Estate", Head of the Department of Research Work and International Relations of the Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev st., 18); Researcher at the Federal State Budgetary Institution "PAFSC RAS" (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID 0000-0003-3898-5813, e-mail: arman.bisalieva2012@yandex.ru

Voronov Sergey Ivanovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences Director, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8103-3909, e-mail: vsi08@mail.ru

Bulakhtina Galina Konstantinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Department of Environmental Management, Head of Department, Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID 0000-0001-8949-8666, e-mail: gbulaht@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-02

YIELD AND WATER BALANCE OF ONIONS IN THE LOWER VOLGA REGION

²Denisov K. E., ¹Petrov N. Y., ²Solodovnikov A. P., ¹Ivanov V. A., ³Bolaev B. K.¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation²Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation³Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov
Elista, Republic of Kalmykia, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 15.04.2024

Submitted 30.05.2024

Abstract

Introduction. In modern times, the development of vegetable growing, which is marked by the widespread introduction of the latest technologies, specifically drip irrigation, the introduction and adaptation of modern (more often foreign) varieties and hybrids, optimization of the water and mineral nutrition system, an effective

plant protection program against diseases and pests, sufficient supply of energy to vegetable growers and the construction of the logic of market relations, requires comprehensive scientific ensuring all cultivation processes, without exception, both vegetables and such high-tech crops as onions. **Object.** 2 onion hybrids were selected as the object of study: Burgus (control) and Valero. Irrigation and irrigation norms at various irrigation levels were studied. **Materials and methods.** The field experiment was conducted in the fields of the Zvolinsky O.V. IP, which is located on the territory of the Chernoyarsk district of the Astrakhan region (this is the southeastern European part of Russia, the Northwestern Caspian Sea). **Results and conclusions.** The studies carried out over three years in the arid zone of the Northern Caspian Sea allowed us to establish that drip irrigation had a significant impact on the formation of yield components of turnip onions, while it was found that the studied irrigation levels had an impact on these values. It was found that the maximum yield of the studied crop was obtained from the effect of the growth stimulant Flora C on both hybrids. At the irrigation level of 70...70...70% HB, the yield was in the hybrid Burgus (control) with a planned yield of 100 t/ha – 92.41 t/ha. In the corresponding variant of the Valero hybrid, these values were equal to 100.05 t/ha. The appointment of differentiated irrigation led to an increase in yields to 98.30 and 111.94 t/ha, respectively. The Flora C stimulator contributed to an additional increase in yield, as a result, it amounted to 102.73 t/ha for the corresponding variant of the Burgus hybrid, and 104.43 t/ha for the Valero hybrid (constant irrigation level). In the differentiated irrigation regime, its values were 114.77 and 115.69 t/ha.

Keywords: onions, onion water consumption, onion hybrids, Burgus, Valero, onion yield.

Citation. Denisov K. E., Petrov N. Yu., Solodovnikov A. P., Ivanov V. A., Bolaev B. K. Yield and water balance of onions in the lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 23-29 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-02.

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 635.25(470.44/.47)

УРОЖАЙНОСТЬ И ВОДНЫЙ БАЛАНС ЛУКА РЕПЧАТОГО В НИЖНЕВОЛЖСКОМ РЕГИОНЕ

²Денисов К. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Солодовников А. П., доктор сельскохозяйственных наук

¹Иванов В. А., соискатель

³Болаев Б. К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»

г. Саратов, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б.Б. Городовикова»

г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

Актуальность. В современное время развитие овощеводства, которое отмечается повсеместным внедрением новейших технологий, конкретно капельное орошение, интродукцией и адаптацией современных (чаще зарубежных) сортов и гибридов, оптимизацией системы водного и минерального питания, действенной программой защиты растений от болезней и вредителей, достаточным снабжением энерговооруженностью овощеводов и построением логики рыночных отношений, требуется всеобъемлющее научное обеспечение всех без исключения процессов возделывания как овощей, так и такой высокотехнологичной культуры, как лук репчатый. **Объект.** В качестве объекта изучения были выбраны 2 гибрида лука репчатого: Бургус (контроль) и Валеро. Изучались поливные и оросительные нормы на различных уровнях полива. **Материалы и методы.** Полевой эксперимент проводился на полях ИП Зволинский О. В., который расположен на территории Черноярского района Астраханского региона (это юго-восточная европейская часть России, Северо-Западный Прикаспий). **Результаты и выводы.** Проведенные исследования в течение трех лет в аридной зоне Северного Прикаспия позволили установить, что капельный полив оказывал значительное влияние на формирование урожайных составляющих лук-репки. При этом было установлено, что изучаемые уровни полива оказывали свое влияние на данные величины. Было установлено, что максимальная урожайность изучаемой культуры была получена от воздействия стимулятора роста Флора С на обоих гибридах. При уровне полива 70...70...70% HB урожайность составила у гибрида Бургус (контроль) при планированной урожайности 100 т/га – 92,41 т/га. На соответствующем варианте гибрида Вале-

ро эти значения равнялись – 100,05 т/га. Назначение дифференцированного полива привело к росту урожайности соответственно до 98,30 и 111,94 т/га. Стимулятор Флора С способствовал дополнительному росту урожайности, в итоге она составила на соответствующем варианте гибрида Бургус – 102,73 т/га, а у гибрида Валеро – 104,43 т/га (постоянный уровень полива). На дифференцированном режиме полива ее значения составляли – 114,77 и 115,69 т/га.

Ключевые слова: лук репчатый, водопотребление лука репчатого, гибриды лука репчатого, Бургус, Валеро, урожайность лука репчатого.

Цитирование. Денисов К. Е., Петров Н. Ю., Солодовников А. П., Иванов В. А., Болаев Б. К. Урожайность и водный баланс лука репчатого в Нижневолжском регионе. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 23-29. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-02.

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. Лук – это довольно технологичная культура и наиболее востребованная и разносторонне потребляемая населением во внесезонный период года. При выполнении требуемых условий лук может сохраняться в течение 6...8 месяцев [2, 6].

Потенциальный порог урожайности данной культуры варьирует в интервале 90,0...до 100,0 и более тонн с гектара. По времени созревания лук репка подразделяется на ранний (ФАО 80...90), средний (ФАО 90...100), поздний (ФАО свыше) [4, 8].

Производственный ресурс регионов России по производству лука репчатого существенно разнится и всецело зависит как от природно-климатических факторов и технологических приемов, так и от рынка и потребления этой продукции населением [1].

В промышленных масштабах лук репчатый в России возделывается более чем в 10 регионах, но только Волгоградский регион превысил его производство в 350,0 тысяч тонн, а Астраханский – в 265,0 тысяч тонн, каждый год. С учетом имеющихся традиций и прогресса технологий: от полива по бороздам, через дождевание разными дождевальными агрегатами – в прошлом столетии, до орошения через систему капельного полива – в настоящее время. Аграрная культура возделывания лука репки претерпела значительные положительные тенденции. Так, при орошении по бороздам урожайность его изменялась от 16,0 до 28,0 тонн с гектара, при дождевании – от 30,0 до 45,0 тонн с гектара и только при капельном поливе, в сочетании с применением высокотехнологичных приемов водного и химического питания, защиты растений, удалось повысить урожайность до 100,0...120,0...140,0 и более тонн с гектара, в отдельно взятых регионах [5, 11].

Получившийся разрыв значений урожайности в научно-исследовательских сельскохозяйственных учреждениях и ведущих фермерских хозяйствах со средними показателями по отдельным региону и, тем более, по стране свидетельствуют о наличии определенных проблем как в производстве, так и в реализации лука [7, 12].

Материалы и методы. Опытные изыскания были проведены на землепользовании ИП «Зволинский О. В.», находящегося на территории Черноярского района Астраханского региона. Почвенный покров опытного участка – подтип светло-каштановый, слабосолонцеватый. Галичие гумуса в пахотном слое почвы (по Тюрину) составлял 0,21...1,22%, рН 6,8...7,3, сумма поглощённых оснований 18,5...18,9 мг/экв. на 100 г почвы, содержание (по Керсанову) NO_3 – 0,45, P_2O_5 – 2,29, K_2O – 25,18 мг/100 г почвы.

Расчет применения стимуляторов роста осуществлялся на планируемые урожайности 80,0; 90,0 и 100,0 т/га, по методическим рекомендациям, разработанным на Опытной станции по программированию урожая Волгоградского СХИ.

Опыты проводились в 2021...2023 годах.

Способ посева лука – ленточный, четырехстрочный. Норма посева выполнялась для достижения 850 тыс. растений на гектар, что отвечало весовой норме высева 4 кг/га.

1. Контроль (без обработки стимулятора роста).

2. Гумат калия жидкий торфяной. Трехкратная внекорневая обработка: 1-я – в фазу появления 2...3 листьев, 2 и 3-я – с интервалом 1...12 суток. Расход препарата – 0,4 л/га (рабочего раствора – до 300 л/га).

Способ полива – капельный. В зависимости от погодных условий года проведения исследований, проводилось от 24 до 32 поливов за сезон. Более всего проводилось поливов в 2021 году, мене всего – в 2022 году.

Результаты и обсуждение. Глобальной проблемой сельскохозяйственного производства является такая категория, как правильное использование орошаемых площадей. К таковым относятся земли, которые используются для производства овощной продукции. Причин, которые неблагоприятно влияют на качество орошаемых площадей, много – это засоление почв по итогам хозяйственной деятельности человека, эрозийные процессы, опустынивание, бесконтрольное или неправильное использование удобрений, истощение почв и потеря органики – гумуса и другие. Решение их возможно с внедрением ресурсосберегающих технологий в овощеводстве открытого грунта, восполнением и сохранением плодородия и физико-химических свойств орошаемых площадей при эффективном производстве овощных культур, конкретно, высокоадаптивных гибридов лука репчатого. Материалы полученных изысканий определены в таблицах 1...4.

Таблица 1 – Схема полива при разных режимах орошения

Table 1 – Irrigation scheme under different irrigation regimes

Фаза развития / Developmental phase	Режим полива / Watering mode					
	70...70...70% НВ			80...80...70% НВ		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Посев / Sowing	241	225	236	269	254	259
Посев – 1-й лист / Sowing – 1st leaf	1087	1006	1047	1204	1141	1186
1-й лист – формиро- вание луковицы / 1st leaf – bulb formation	1732	1561	1603	1864	1638	1756
Формирование луко- вицы – полегание / Bulb formation – lodging	3724	3549	3621	3862	3605	3743
Оросительная норма / Irrigation rate	6784	6341	6507	7199	6638	6944

Таблица 2 – Урожайность лука репчатого, т/га (среднее за 2021-2023 гг.)

Table 2 – Onion yield, t/ha (average for 2021-2023)

Агрофон / Agro ground	70...70...70%НВ			Среднее / average	80...80...70%НВ			Среднее / average
	80 т/га	90 т/га	100 т/га		80 т/га	90 т/га	100 т/га	
Гибрид Бургус / Hybrid Burgus								
Контроль / Control	80,75	86,36	92,41	86,48	90,18	94,74	98,30	94,37
Гумат / Humate	91,76	95,19	99,34	95,41	99,09	107,51	112,35	106,32
Флора-С / Flora-S	92,79	96,40	102,73	97,32	101,58	109,19	114,77	108,48
Среднее / average	88,44	92,62	98,19		96,95	103,78	108,32	
Гибрид Валеро / Hybrid Valero								
Контроль / Control	92,34	96,49	100,05	96,28	100,11	107,49	111,94	106,52
Гумат / Humate	94,38	99,15	104,50	99,35	104,05	110,27	115,43	109,93
Флора-С / Flora-S	97,30	103,67	108,74	103,25	107,58	114,71	119,82	114,07
Среднее / average	94,69	99,74	104,43		103,90	110,64	115,69	

НСП₀₅ 0,16 0,18 0,20 0,19 0,22 0,24

Таблица 3 – Урожайность и коэффициент водопотребления лука репчатого при уровне полива 70...70...70% НВ, порог урожайности 90 т/га, среднее за 2021-2023 гг.
Table 3 – Yield and coefficient of water consumption of onions at an irrigation level of 70... 70... 70% LW, yield threshold 90 t/ha, average for 2021-2023

Гибрид / Hybrid	Режим полива / Watering mode	Оросительная норма, м³/га / Irrigation rate, m³/ha	Суммар. водопот., м³/га / Summar. water, m³/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Коефф. водопотр., м³/га / Coeff. water, m³/ha
Бургус / Burgus	Контроль / Control	6891	7798	86,36	90,6
	Гумат / Humate	6891	7365	95,19	77,5
	Флора-С / Flora-S	6891	7166	96,40	74,3
	Среднее / average	6891	7443	92,62	80,9
Валеро / Valero	Контроль / Control	6891	7811	96,49	81,3
	Гумат / Humate	6891	7465	99,15	75,4
	Флора-С / Flora-S	6891	7229	103,67	70,1
	Среднее / average	6891	7501	99,74	75,7

Таблица 4 – Урожайность и коэффициент водопотребления лука репчатого при уровне полива 80...80...70% НВ, порог урожайности 90 т/га, среднее за 2021-2023 гг.
Table 4 – Yield and coefficient of water consumption of onions at an irrigation level of 80... 80... 70% LW, yield threshold 90 t/ha, average for 2021-2023

Гибрид / Hybrid	Режим полива / Watering mode	Оросительная норма, м³/га / Irrigation rate, m³/ha	Суммар. водопот., м³/га	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Коефф. водопотр., м³/га / Coeff. water, m³/ha
Бургус / Burgus	Контроль / Control	6927	8108	94,74	86,2
	Гумат / Humate	6927	7654	107,51	71,5
	Флора-С / Flora-S	6927	7437	109,19	68,2
	Среднее / average	6927	7733	103,78	75,0
Валеро / Valero	Контроль / Control	6927	8251	107,49	77,1
	Гумат / Humate	6927	7962	110,27	72,3
	Флора-С / Flora-S	6927	7608	114,71	66,7
	Среднее / average	6927	7940	110,64	72,1

Обзор полученного материала свидетельствует, что на контрольных делянках урожайность лука строилась только за счет поливной воды и, частично, за счет естественного плодородия. В итоге на этих вариантах была сформирована наименьшая урожайность, находящаяся в пределах от 94,76 т/га (гибрид Бургус) до 107,49 т/га (гибрид Валеро). Соответственно коэффициенты водопотребления равнялись 86,2 и 77,1 т/га. Применение регуляторов роста существенным образом отразилось на урожайных данных. От применения Гумата урожайность возросла у гибрида Бургус до 107,51 т/га (при коэффициенте водопотребления 71,5), а у гибрида Валеро соответственно до 110,27 т/га (при коэффициенте водопотребления 72,3). Максимальные показатели урожайных данных были достигнуты при применении стимулятора роста Флора С. Урожайность соответственно составляла 109,19 и 114,71 т/га, при коэффициентах водопотребления 68,2 и 66,7.

Заключение. С целью получения урожайности лука репки на уровне 100 т/га необходимо применять стимулятор роста Флора С. Использование его на гибриде Бургус позволяет достичь урожайности 109,19 т/га (коэффициент водопотребления 68,2), а на гибриде Валеро – 114,71 т/га (коэффициент водопотребления 66,7).

Conclusions. In order to obtain a turnip onion yield of 100 t/ha, it is necessary to use the growth stimulator Flora C. Its use on the Burgus hybrid allows you to achieve a yield of 109.19 t/ha (water consumption coefficient 68.2), and on the Valero hybrid – 114.71 t/ha (water consumption coefficient 66.7).

Библиографический список

1. Калмыкова Е. В., Петров Н. Ю., Нарусhev В. Б. Продуктивность лука репчатого при применении регулятора роста Энергия-М. Аграрный научный журнал. 2018. № 2. С.7-11.
2. Калмыкова Е. В., Петров Н. Ю., Калмыкова О. В., Зволинский В. В. Эффективные элементы возделывания репчатого лука при капельном орошении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1. С. 51-58.
3. Мамбетназаров А. Б., Халмуратова Б. У. Стабилизация развития сельскохозяйственных культур в низовьях Амударьи в условиях маловодья. Аграрная Россия. 2020. № 2. С. 21-23.
4. Мойсевич Н. В. Оптимизация технологических приемов выращивания семян лука репчатого. Овощи России. 2011. № 2. С.43-46.
5. Федорова В. А., Матвеева Н. И., Пучков М. Ю., Зволинский В. П., Калмыкова Е. В., Петров Ю. Н. Оптимизация овощных севооборотов Северного Прикаспия (Лук репчатый в Нижнем Поволжье): монография. Волгоград: Волгоградский ГАУ. 2018. 188 с.
6. Осипов А. И., Шкрабак Е. С. Роль некорневого питания в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 54. С. 44-52.
7. Плаксина В. С., Асташов А. Н. Некорневые подкормки сельскохозяйственных культур гуминовыми удобрениями в экспериментальном севообороте. Нива Поволжья. 2021. № 2. С. 14-18.
8. Плескачев Ю. Н., Лукьяненко Е. А. Повышение продуктивности овощных культур за счет правильного применения листовых подкормок. Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 5 (371). С. 22-26.
9. Матвеева Н. И., Зволинский В. П., Петров Н. Ю., Зволинский В. В., Наумов В. Ю. Производственная эффективность выращивания лука репчатого на Нижней Волге. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 4. С. 95-98.
10. Спиридонов А. М., Данилова Т. А., Адрицкая Н. А. Овощеводство северо-запада России: современное состояние и перспективы. Аграрная Россия. 2020. № 4. С. 18-22.
11. Разин А. Ф., Шатилов М. В., Иванова М. И., Разин О. А., Дацковская Н. А., Сурихина Т. Н., Телегина Г. А. Эффективность российского овощеводства открытого грунта в условиях санкций. Аграрная Россия. 2019. № 4. С. 42-48.
12. Arumugam T., Sandeep G., Maheswari M. U. Soilless farming of vegetable crops. The Pharma Innovation Journal. 2021. № 10 (1). Pp. 773-785.
13. Moulana S., Kumar P. S., Vedhantham V. Cultivation practices of vegetable crops. KRISHI SCIENCE – eMagazine for Agricultural Sciences. 2020. № 1 (03). Pp. 42-44.
14. Sengirbekova L. K., Syzdykova L. S. Research of safe methods of production of canned vegetables using grain crops. Bulletin of the Almaty Technological University. 2022. № 1. Pp. 65-71.

References

1. Kalmykova E. V., Petrov N. Yu., Narushev V. B. Productivity of onions when using the growth regulator Energia-M. Agrarian Scientific Journal. 2018. No 2. Pp. 7-11.
2. Kalmykova E. V., Petrov N. Yu., Kalmykova O. V., Zvolinsky V. V. Effective elements of onion cultivation with drip irrigation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity complex: science and higher professional education. 2018. No 1. Pp. 51-58.
3. Mambetnazarov A. B., Halmuratova B. U. Stabilization of the development of agricultural crops in the lower reaches of the Amu Darya in conditions of low water. Agrarian Russia. 2020. No 2. Pp. 21-23.
4. Moisevich N. V. Optimization of technological methods for growing onion seeds. Vegetables of Russia. 2011. No 2. Pp.43-46.
5. Fedorova V. A., Matveeva N. I., Puchkov M. Yu., Zvolinsky V. P., Kalmykova E. V., Petrov Y. N. Optimization of Vegetable Crop Rotations in the Northern Caspian Region (Onion in the Lower Volga Region): Monograph. Volgograd: Volgograd State Agrarian University. 2018. 188 p.
6. Osipov A. I., Shkrabak E. S. The role of non-root nutrition in increasing the productivity of agricultural crops. Izvestiya St. Petersburg State Agrarian University. 2019. No 54. Pp. 44-52.
7. Plaksina V. S., Astashov A. N. Foliar top dressing of agricultural crops with humic fertilizers in experimental crop rotation. Niva of the Volga region. 2021. No 2. Pp. 14-18.
8. Pleskachev Yu. N., Lukyanenko E. A. Increasing the productivity of vegetable crops through the proper use of leafy top dressing. International Agricultural Journal. 2019. No 5 (371). Pp. 22-26.
9. Matveeva N. I., Zvolinsky V. P., Petrov N. Yu., Zvolinsky V. V., Naumov V. Y. Production efficiency of onion cultivation in the Lower Volga. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2019. № 4. Pp. 95-98.
10. Spiridonov A. M., Danilova T. A., Adritskaya N. A. Vegetable growing in the north-west of Russia: the current state and prospects. Agrarian Russia. 2020. No 4. Pp. 18-22.
11. Razin A. F., Shatilov M. V., Ivanova M. I., Razin O. A., Datskovskaya N. A., Surikhina T. N., Telegina G. A. Efficiency of Russian open-field vegetable growing under sanctions. Agrarian Russia. 2019. № 4. Pp. 42-48.

12. Arumugam T., Sandeep G., Maheswari M. U. Soilless farming of vegetable crops. The Pharma Innovation Journal. 2021. № 10 (1). Pp. 773-785.
13. Moulana S., Kumar P. S., Vedhantham V. Cultivation practices of vegetable crops. KRISHI SCIENCE – eMagazine for Agricultural Sciences. 2020. № 1 (03). Pp. 42-44.
14. Sengirbekova L. K., Syzdykova L. S. Research of safe methods of production of canned vegetables using grain crops. Bulletin of the Almaty Technological University. 2022. № 1. Pp. 65-71.

Информация об авторах

Денисов Константин Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по науке, Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект Петра Столыпина, д. 4, корпус 3), e-mail: k.denisov@inbox.ru

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры Технологии перерабатывающих и пищевых производств, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Солодовников Анатолий Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия», Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект Петра Столыпина, д. 4, корпус 3), e-mail: solodovnikov-sgau@yandex.ru

Иванов Виктор Анатольевич, старший преподаватель кафедры Право и социально-гуманитарные дисциплины, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: ivanov.viktor-93@yandex.ru

Болаев Баатр Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии и животноводства ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Author's Information

Denisov Konstantin Evgenievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for Science, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Petra Stolypin Avenue, 4, building 3), e-mail: k.denisov@inbox.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Technology of Processing and Food Production, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26) Doctor of Agricultural Sciences, Professor. Tel. 8 (8442) 41-10-79, e-mail: npetrov60@list.ru

Solodovnikov Anatoly Petrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agriculture, Melioration and Agrochemistry, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Petra Stolypin Avenue, 4, building 3), e-mail: solodovnikov-sgau@yandex.ru

Ivanov Viktor Anatolievich, Senior Lecturer of the Department of Law and Social and Humanitarian Disciplines, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: ivanov.viktor-93@yandex.ru

Bolaev Baatr Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology and Animal Husbandry of the Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000>, e-mail: kanur64@mail.

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-03

FORMATION OF HIGHLY PRODUCTIVE AGROPHYTOCENOSSES OF WINTER SOFT WHEAT
IN THE CENTRAL NON-CHEROZEM REGION

Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselyov E. F., Tegesov D. S., Pleskachyov N. Yu.

Federal Research Center «Nemchinovka»
Moscow, Russian Federation

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

Received 25.03.2024

Submitted 23.04.2024

Summary

The article analyses the impact of external factors, including agro-technologies of different levels of intensity on the formation of yield of winter wheat varieties of selection of the Federal Research Centre "Nemchinovka".

Abstract

Introduction. The increase in winter soft wheat yields is achieved through the successful introduction of new promising varieties, intensive technologies and methods of process management in agriculture. **Materials and methods.** The test was performed at the experimental site of FRC Nemchinovka in the period from 2018 to 2023. The medium loamy sod-podzolic soil was characterised by slightly acid reaction of soil medium (pH_{KCl} 5.3-5.5), the content of mobile phosphorus corresponded to a high level (195-275 mg/kg), and the content of mobile potassium was elevated (130-156 mg/kg). The precursor of winter wheat is occupied fallow. Agro-technologies and varieties were studied in a two-factor field experiment. Repetition of the experiment was threefold. Plot area – 72 m², counting area – 56 m². Placement of plots in the experiment was systematic. **Results and conclusions.** Hydrothermal conditions have a significant influence on yield data of winter wheat varieties. Low yields and reduced photosynthetic productivity are caused by excessive temperature range and moisture deficit. The use of increased doses of mineral fertilizers in combination with an integrated system of plant protection, increases the assimilation surface and the duration of its productive work, thereby offsetting the nega-

tive impact of weather conditions, which on the productivity of winter wheat is favourable. The highest photosynthetic potential was observed in favourable years with sufficient moisture and a set of effective positive temperatures in varieties Moskovskaya 40, Moskovskaya 27 and Nemchinovskaya 85, respectively 8.19; 8.66 and 83.9 million m^2 – day/ha, net photosynthetic productivity, similarly 1.95; 1.76 and 1.54 kg of grain/ha with 1 thousand m^2 of assimilation area. To improve the plant-sanitary situation of sowing and save the leaf plane of agrocltures guarantees the use of resources of plant protection measures, which allowed to reach the level of biological efficiency from the use of fungicides on winter wheat varieties and high-intensive agro-technology 82-98 %, insecticides – 77-98 % and herbicides – 98-99 %. When using high-intensity technologies, the yield of Nemchinovskaya 85 was 9.48 t/ha, which was 35 % higher than the basic technology, Moscow 27 – 8.98 t/ha (32 % increase) and Moscow 40 – 9.05 t/ha (16 % increase).

Keywords: winter wheat, winter wheat varieties, winter wheat yield, winter wheat cultivation technologies.

Citation. Kapranov V. N., Zelenov A. V., Kiselyov E. F., Tegesov D. S., Pleskachyov N. Yu. Formation of highly productive agrophytocenoses of winter soft wheat in the central non-chernozem region. *Proc. of the Lower Volga Agro University Comp.* 2024. 3(75). 29-39 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-03.

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 633.111.1(470.31)

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ

Капранов В. Н., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Зеленов А. В., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
Киселёв Е. Ф., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Тегесов Д. С., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Плескачёв Н. Ю., лаборант-исследователь

Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»
г. Москва, Российская Федерация

Введение. Увеличение урожайности озимой мягкой пшеницы достигается благодаря успешному внедрению новых перспективных сортов, интенсивных технологий и методов управления процессами в сельском хозяйстве. **Материалы и методы.** Испытание выполнялось на экспериментальном участке ФИЦ «Немчиновка» в срок с 2018 по 2023 год. Среднесуглинистая дерново-подзолистая почва характеризовалась слабокислой реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 5,3-5,5), по содержанию подвижного фосфора соответствовала высокому уровню (195-275 мг/кг), а обеспеченность подвижным калием являлась повышенной (130-156 мг/кг). Предшественник пшеницы озимой – занятый пар. В двухфакторном полевом опыте изучали агротехнологии и сорта. Повторность опыта – трёхкратная. Площадь делянки – 72 m^2 , учётная площадь – 56 m^2 . Размещение делянок в эксперименте – систематическое. **Результаты и обсуждение.** Существенное влияние на урожайные данные сортовых видов пшеницы озимой оказывают гидротермические условия. Небольшую урожайность и снижение продуктивности фотосинтеза вызывает чрезмерный диапазон температур и дефицит увлажнения. Наибольший фотосинтетический потенциал отмечался в благоприятные годы с достаточным увлажнением и набором эффективных положительных температур у сортов Московская 40, Московская 27 и Немчиновская 85, соответственно 8,19; 8,66 и 83,9 млн. $\text{m}^2 \cdot \text{сут-ки/га}$, чистая продуктивность фотосинтеза, подобающим образом 1,95; 1,76 и 1,54 кг зерна/га с 1 тыс. m^2 площади ассимиляции. Усовершенствовать растительно-санитарную обстановку высевов и спасти листовую плоскость агрокультур гарантирует задействование ресурсов защитных мер для растений, что позволило достичь уровня биологической эффективности от применения фунгицидов на сортах пшеницы озимой и высокоинтенсивной агротехнологии 82-98%, инсектицидов – 77-98% и гербицидов – 98-99%. При использовании высокоинтенсивных технологий урожайность Немчиновской 85 составляла 9,48 т/га, что на 35% превышала базовую технологию, Московской 27 – 8,98 т/га (увеличение на 32%) и Московской 40-9,05 т/га (увеличение на 16%).

Ключевые слова: озимая пшеница, сорта озимой пшеницы, урожайность озимой пшеницы, технологии возделывания озимой пшеницы.

Цитирование. Капранов В. Н., Зеленов А. В., Киселёв Е. Ф., Тегесов Д. С., Плескачев Н. Ю. Формирование высокопродуктивных агрофитоценозов озимой мягкой пшеницы в Центральном Нечерноземье. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 29-39. DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-03.

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. Зерновое производство является одной из основных отраслей агропромышленного сектора, не только обеспечивающей продовольственную безопасность, но и оказывающей значительное влияние на экономику в целом. В России наблюдается стабильный рост производства зерновых культур, что свидетельствует о системном развитии этой отрасли. Увеличение урожайности зерновых культур указывает на успешное внедрение новых перспективных сортов, интенсивных технологий и методов управления процессами в сельском хозяйстве. Российская Федерация играет ключевую роль на мировом зерновом рынке, являясь одним из крупнейших экспортёров пшеницы. Экспортные объёмы пшеницы (39 млн. тонн зерна) составляют значительную долю мирового экспорта – 19,6%, что говорит о важности настоящей области в интересах прочности крупномасштабного маркетинга продуктов питания и глобальной экономической системы [1, 2, 3, 4].

Продуктивность хлебных злаков на агропромышленных предприятиях всех групп согласно информации российской статистики в среднем составила 3,15 т/га, озимой пшеницы – 4,1 т/га. В достижении высоких урожаев зерновых культур ключевую роль играют современные районированные сорта, а также сбалансированное обеспечение влагой и питательными веществами, соблюдение научно обоснованного севооборота, использование эффективных методов обработки почвы и защиты растений, что в итоге позволяет сохранять плодородие почв и обеспечить потенциал урожайности озимой пшеницы современных сортов свыше 10 т/га [5, 6, 7, 8].

Сорт, подобно быстро совершенствующейся экосистеме, характеризуется возможностью воплотить резерв наборов наследственных признаков в конкретных инновационных и агрометеорологических обстоятельствах. Ввиду внедрения малоинтенсивных агротехнологий и нередко ухудшающейся и ограниченной выносливости культур к стрессовым состояниям, вызванным повреждением другими живыми организмами и негативным воздействием неживых факторов окружающей среды, прогнозируемая урожайность сортов выполняется исключительно на 25-40%. Основная масса сельскохозяйственных предприятий ориентируются на недостаточно прихотливые виды с устойчивой продуктивностью. Учитывая выращивание в условиях диаметрально противоположных метеорологических факторов, нелегко ограничиться единственным сортом. Идеально располагать множеством сортов аналогичной культуры, предназначенных для противоречивых требований культивирования и величины продуктивности [9, 10].

Степень наследственной способности сорта, каковая представляется ключевым и определяющим источником формирования продуктивности, устанавливается его преобладающим значением в получении высоких урожаев. Агротехнологии, невзирая на их безграничное действие на урожайность, только в большем или меньшем объёме благоприятствуют воплощению в жизнь наследственного ресурса сортовой продуктивности. Задействуя совокупность средств, содержащих идеальный ассортимент предшествующих культур, адекватную подготовку почвенного покрова, минеральное питание, защиту от вредоносных объектов и стимуляторы роста, можно снискать максимальных урожаев [11, 12].

Цель исследования – оценить сорта пшеницы озимой по продуктивности и урожайности в отношении воздействия на них агротехнологий всевозможной степени интенсивности.

Материалы и методы. Испытание выполнялось на экспериментальном участке ФИЦ «Немчиновка» в срок с 2018 по 2023 год в Новомосковском административном округе города Москвы, д. Соколово. Почва среднесуглинистая дерново-подзолистая, характеризовалась слабокислой реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 5,3-5,5), по содержанию подвижного фосфора соответствовала высокому уровню (195-275 мг/кг), а обеспеченность подвижным калием являлась повышенной (130-156 мг/кг). Предшественник – занятый пар.

В опыте (табл. 1) изучали сорта пшеницы озимой местной селекции (фактор А) и технологии различного уровня интенсификации (фактор В).

Протравливание семян перед посевом во всех агротехнологиях было имазалилом 15 г/л + тиабендазолом 25 г/л + флутриафолом 37,5 г/л и имидаклопридом 600 г/л.

Повторность опыта – трёхкратная. Площадь деланки – 72 м², учётная площадь – 56 м². Норматив посевного материала составлял 5 млн. шт/га. Высев выполняли зерновой сеялкой Amazone D9-40. Остальные элементы агротехнологии соответствовали общепринятым в регионе. По методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур проводили наблюдения и учёты, фотосинтетическая деятельность по А. А. Ничипоровичу. Уборка – комбайном Winterschtaiger.

Таблица 1 – Применяемые в опыте сорта и агротехнологии
Table 1 – Varieties and agro-technologies used in the experiment

Сорта селекции ФИЦ «Немчиновка» (фактор А)	Московская 40, Московская 27, Немчиновская 85
Агротехнологии различного уровня интенсивности (фактор В)	1. Базовая технология предусматривала внесение минеральных удобрений в количествах основное внесение – $N_{30}P_{60}K_{90}$ и подкормка N_{60} . Применяли гербицид (659 г/кг дикамба + 41 г/кг триасульфурон) + инсектицид (диметоатит 400 г/л), обработка регулятором роста (тринексапак-этил 250 г/л) по прогнозу.
	2. Интенсивная технология включала основное внесение удобрений $N_{30}P_{90}K_{120}$ и подкормку $N_{60}+N_{30}$. Весной в фазу выхода в трубку использовали гербицид (метсульфурон-метил 70 г/кг + тифенсульфурон-метил 680 г/кг) и инсектицид (диметоатит 400 г/л) + фунгицид (пропиконазол 250 г/л + ципроконазол 80 г/л) + ретардант (тринексапак-этил 250 г/л).
	3. Высокоинтенсивная технология предполагала дозы основного минерального удобрения $N_{30}P_{120}K_{180}$ с последующими подкормками $N_{60}+N_{30}+N_{30}$. Осенью всходы опрыскивали баковой смесью пестицидов метсульфурон-метил 70 г/кг + тифенсульфурон-метил 680 г/кг + диметоатит 400 г/л + тринексапак-этил 250 г/л. Весной в фазу выхода в трубку применяли фунгицид (тебуконазол 225 г/л) и ретардант (тринексапак-этил 250 г/л). Защита колоса – азоксистробин 125 г/л + флутриафол 125 г/л + гамма – цигалотрин 60 г/л.

Результаты и обсуждение. Стабилизация продуктивности пшеницы озимой подчиняется параметрам окружающей среды, а её рост координируется с нарастанием насыщенности агропромышленных технологий. 2022 год в целом был негативным по атмосферным явлениям, в период острого цикла развития растений, примерно в конце мая, наблюдалось недополучение влаги, что вызвало нехватку собранного урожая анализируемых сортов. Урожайность варьировала от 6,24 до 7,15 т/га при высокоинтенсивной технологии и от 4,52 до 5,91 т/га при базовой технологии. В этом году Московская 27 показала отличные результаты, урожайность составила от 5,91 до 7,15 т/га в соответствии с агротехнологией (табл. 2.). В 2020 и 2023 годах при обильном увлажнении и нужной сумме эффективных температур урожайность в зависимости от сорта по базовой агротехнологии варьировала от 7,44 т/га до 9,14 т/га у Московской 40, от 8,44 т/га до 8,61 т/га у Московской 27 и от 7,65 т/га до 8,18 т/га у Немчиновской 85.

При увеличении интенсивности возделывания сортов озимой пшеницы до высокой отмечается повышение урожайности. Московская 27 продемонстрировала урожайность 10,23-12,12 т/га. У Немчиновской 85 и Московской 40 значения урожая были несколько ниже, соответственно 10,68-11,28 т/га и 9,71-11,25 т/га. Отсюда, в среднем за годы исследований установлено, что при использовании высокоинтенсивных технологий урожайность Немчиновской 85 составляла 9,48 т/га, что на 35% превышала базовую технологию, Московской 27 – 8,98 т/га (увеличение на 32%) и Московской 40 – 9,05 т/га (увеличение на 16%).

Концепция формирования продуктивности в научном представлении предполагает, что эффективность периодичности роста выращиваемых культур в значительной мере зависит от их способности к фотосинтезу. Основным фактор, определяющий уровень урожайности, представляет общий объём продукции, полученной в результате фотосинтеза, который зависит не только от скорости самого процесса фотосинтеза, но и от таких параметров, как величина листовой поверхности и продолжительность их активной работы [13, 14, 15, 16].

Принципиальное значение при этом имеет также способ, при котором происходит распределение продуктов фотосинтеза внутри растения, что зависит от условий, в которых происходит их выращивание. Фотосинтез занимает центральное место в жизнедеятельности растений, так как он обеспечивает им основные питательные вещества и энергию. Максимальная урожайность достигается в том случае, когда фотосинтетический аппарат растений имеет оптимальные размеры и продолжительное время функционирования и когда продукция фотосинтеза используется растением максимально эффективно, с минимальными потерями на метаболические процессы. Следовательно, наибольшее внимание в

сельском хозяйстве следует уделять тем характеристикам растений, которые оказывают основное влияние на фотосинтетическую активность и обеспечивают максимальное использование эффективного уровня фотосинтеза [17, 18, 19, 20].

Таблица 2 – Урожайность сортов пшеницы озимой (2018-2023 гг.), т/га

Table 2 – Yield of winter wheat varieties (2018-2023), t/ha

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Технология (фактор В) / Tech- nology (factor B)	Годы исследований / Years of research						Средняя за 2018-2023 гг. / Aver- age for 2018-2023	Прибавка к базов- ой технологии / Addition to basic technology	
		2018	2019	2020	2021	2022	2023		т/га	%
Московская 40 / Moskovskaya 40	1	5,18	7,78	9,14	6,13	4,62	7,44	7,78	-	-
	2	8,36	8,16	10,38	8,81	5,33	8,67	8,29	0,51	6
	3	9,02	8,73	11,25	9,34	6,24	9,71	9,05	1,27	16
Средняя по сорту / Grade average		7,52	8,22	10,26	8,09	5,40	8,61	8,02	-	-
Московская 27 / Moskovskaya 27	1	4,56	7,26	8,44	7,21	5,91	8,61	6,83	-	-
	2	6,21	7,95	9,16	9,96	6,55	9,93	8,21	1,38	20
	3	8,38	8,15	10,23	10,83	7,15	12,12	8,98	2,15	32
Средняя по сорту / Grade average		6,38	7,79	9,28	9,33	6,54	10,22	8,00	-	-
Немчиновская 85 / Nemchinovskaya 85	1	6,74	7,43	7,65	6,44	4,52	8,18	7,00	-	-
	2	7,27	8,25	9,74	9,15	5,66	9,17	8,29	1,30	19
	3	7,37	8,58	10,68	9,54	6,43	11,28	9,48	2,48	35
Средняя по сорту / Grade average		7,13	8,09	9,36	8,38	5,54	9,54	8,26	-	-
НСР ₀₅ (фактор А) / (factor A)		0,09	0,16	0,09	0,18	0,10	0,17	Средняя по технологии / Technology average		
НСР ₀₅ (фактор В) / (factor B)		0,05	0,09	0,07	0,18	0,10	0,15	1	2	3
НСР ₀₅ (частных различий) / (indi- vidual differences)		0,15	0,27	0,21	0,35	0,20	0,29	7,20	8,26	9,17
								-	1,06	1,97

Примечание / Note: 1 – базовая / basic, 2 – интенсивная / intensive, 3 – высокоинтенсивная технология / highly intensive technology.

Интенсивность фотосинтеза, происходящего в агрокультуре, определяется воздействием определенного комплекса внешних и внутренних причин, каковые демонстрируют доминирование полностью системы "растение-среда". Экзогенные факторы включают солнечное излучение, температуру, влажность воздуха и почвы, а также уровень плодородия почвы, точное соблюдение агротехнических приёмов при возделывании зерновых культур, где основными следует считать нормирование доз минеральных удобрений на программированный урожай, дифференцированное по фазам развития растений применение средств защиты растений. Эндогенные факторы свойственны самому агробиоценозу. Они включают биологические особенности растений на клеточном и организменном уровне, такие как структура и содержание хлоропластов, а также архитектура растений в целом. В практике земледелия ещё не удалось решить задачу управления величиной урожая регулированием интенсивности фотосинтеза в посевах. Практически на сегодняшний день используются балансовые исследования фотосинтеза с обязательным определением чистой продуктивности, где главным критерием является контроль над ходом формирования ассимилирующей поверхности растений и создания условий для развития оптимальной её величины во времени и пространстве [21, 22, 23, 24].

По результатам мониторинга нарастания ассимиляционной (листовой) поверхности растений изучаемых сортов озимой пшеницы по мере прохождения фаз развития установлено, что величину фотосинтетического потенциала (ФП) определяли как погодные условия, в том числе суммарное количество ФАР, получаемой растениями за вегетационный период, так и применяемая технология возделывания, элементы которой, как-то: взаимосвязанный комплекс агрохимзащиты и степень питания минеральными элементами, напрямую воздействовали на продолжительность работы ассимиляционной поверхности. Так, фотосинтетический потенциал растений изучаемых сортов озимой пшеницы разнился в годы исследований и изменялся в агротехнологии базовой от

2,21 до 5,3 млн. м² • сутки/га у сорта Московская 40, примерно в тех же пределах у сорта Московская 27 – от 2,13 до 5,2 и от 2,26 до 5,92 млн. м² • сутки/га у сорта Немчиновская 85 (таблица 3). С повышением интенсивности технологии возрастала величина фотосинтетического потенциала, достигая максимальных значений при высокоинтенсивной технологии. Наибольший ФП отмечался в благоприятные годы с достаточным увлажнением и набором эффективных положительных температур: у сорта Московская 40 – на уровне 8,19 млн. м² • сутки/га, у сорта Московская 27 составлял 8,66 млн. м² • сутки/га, а у сорта Немчиновская 85 достигал 8,9 млн. м² • сутки/га.

Таблица 3 – Фотосинтетическая деятельность сортов озимой мягкой пшеницы (2018-2023 гг.)

Table 3 – Photosynthetic activity of winter soft wheat varieties (2018-2023)

Сорт (фактор A) / Variety (factor A)	Технология (фактор B) / Technology (factor B)	Фотосинтетический потен- циал (ФП), млн. м ² -сутки/га / Photosynthetic potential, mln m ² -day/ha		Чистая продуктивность фотосин- теза (Ч _{пр.ф.}), кг. зерна / тыс. м ² в сутки / Net photosynthetic productiv- ity, kg grain / thousand m ² per day		r
		min	max	min	max	
Московская 40 / Moskovskaya 40	1	2,21	5,30	1,75	2,48	-0,72
	2	3,16	6,84	1,52	2,14	
	3	3,84	8,19	1,37	1,95	
Уравнение регрессии / Regression equation: Ч _{пр.ф.} = - 0,007 ФП ² – 0,038 ФП + 2,22						
Московская 27 / Moskovskaya 27	1	2,13	5,20	1,66	2,47	-0,87
	2	3,45	7,49	1,22	1,88	
	3	4,63	8,66	1,18	1,76	
Уравнение регрессии / Regression equation: Ч _{пр.ф.} = - 0,014 ФП ² – 0,292 ФП + 2,72						
Немчиновская 85 / Nemchinovskaya 85	1	2,26	5,92	1,66	2,10	-0,78
	2	3,56	8,12	1,37	1,70	
	3	5,42	8,90	1,19	1,54	
Уравнение регрессии / Regression equation: Ч _{пр.ф.} = - 0,021 ФП ² – 0,384 ФП + 2,95						

Примечание / Note: 1 – базовая / basic, 2 – интенсивная / intensive, 3 – высокоинтенсивная технология / highly intensive technology.

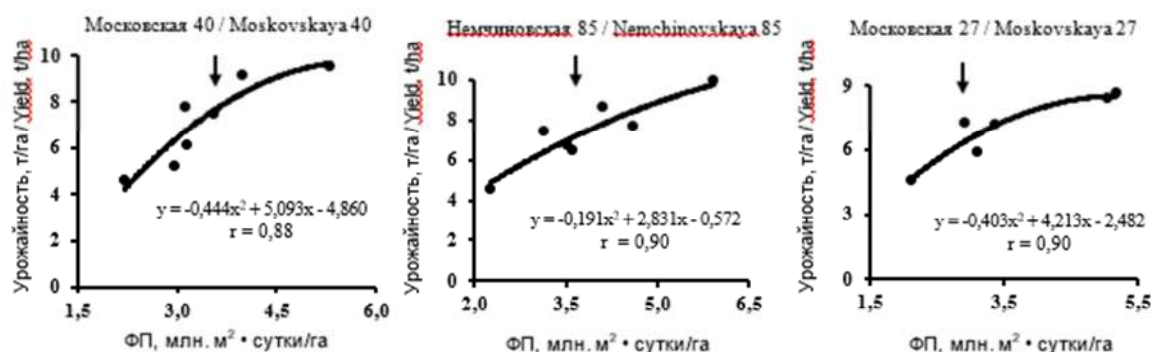
Между фотосинтетическим потенциалом и работой ассимиляционной поверхности растений, или чистой продуктивностью фотосинтеза (Ч_{пр.ф.}) озимой пшеницы выявлена тесная криволинейная обратная корреляция, показанная многочленной функцией второй степени с коэффициентами корреляции $r = - 0,72 - - 0,87$, то есть чем выше ФП, тем меньше величина Ч_{пр.ф.}

По данным закономерностям можно дать прогноз о работе ассимиляционной поверхности растений пшеницы на урожай. Согласно уравнениям регрессии 1 тыс. м²/га листовая поверхность растений сорта Московская 40 может обеспечить формирования 2,22 кг зерна в сутки, сорта Немчиновская 85 – 2,95 кг, сорта Московская 27 – 2,72 кг зерна в сутки.

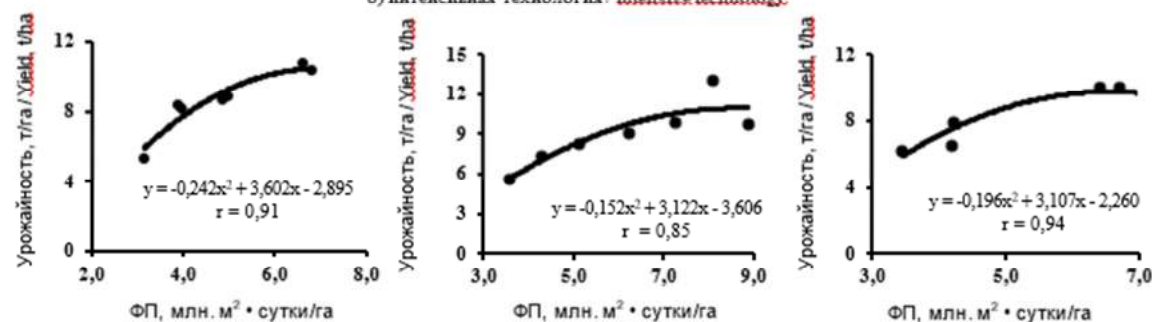
Было найдено также непосредственное отношение между урожайностью сортов пшеницы озимой и непостоянством фотосинтетической способности, каковое устанавливается нелинейной корреляцией многочленной функции второй степени с максимальными корреляционными показателями (рисунок 1).

Модели дают прогноз будущего урожая. В годы с недостаточным увлажнением (ГТК 1 и менее) по мере роста интенсивности технологии возделывания прогнозируемый урожай Московской 40 может составлять 4-7 т/га, Немчиновской 85 – 5-6 т/га, Московской 27 – 5-7 т/га. В благоприятные годы (ГТК 1,5 и более), то есть достаточно увлажнённые, прогнозируемый урожай может достигать по сорту Московская 40 – 9-12 т/га, Немчиновская 85 – 10-12 т/га, Московская 27 – 8-11 т/га. В связи с этим прослеживается чёткая тенденция, определяющая значимость использования при выращивании сортов озимой пшеницы интенсивных технологий. Улучшение минерального питания, двух- и трёхкратное расходование ресурсов агрохимзащиты предоставляет увеличение ассимиляционной поверхности растений и продолжительность её продуктивной работы, тем самым нивелируется отрицательное влияние погодных условий и положительно сказывается на урожайности озимой пшеницы.

а) базовая технология / basic technology



б) интенсивная технология / intensive technology



в) высокоинтенсивная технология / high intensity technology

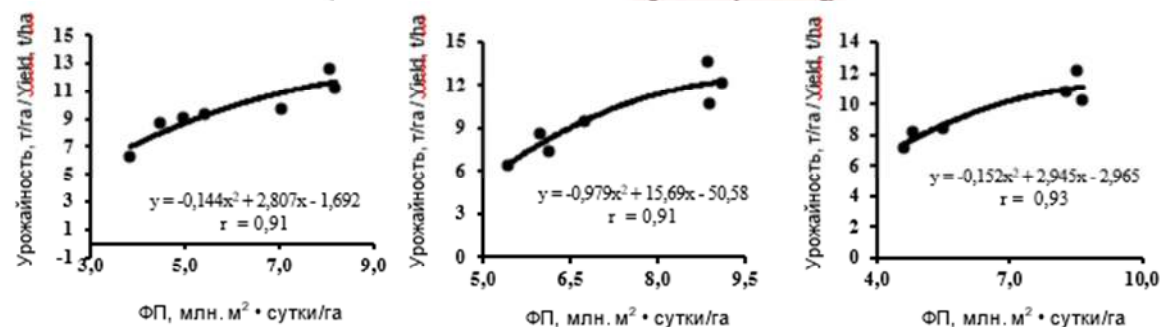


Рисунок 1 – Прогнозирование формирования урожайности сортов озимой мягкой пшеницы (y, т/га) при изменчивости фотосинтетического потенциала (x, тыс. м² · сутки/га) (данные за 7 лет)
Figure 1 – Forecasting of winter soft wheat varieties yield formation (y, t/ha) under variability of photosynthetic potential (x, thousand m² · day/ha) (data for 7 years)

В ходе длительных исследований по возделыванию сортов озимой пшеницы было выявлено, что наибольшее развитие получили болезни снежная плесень (11,5-21,7%) и мучнистая роса (11,8-19,7%) (таблица 4). Развитие септориоза и корневой гнили было значительно ниже и составляло, соответственно, (4,2-10,4%) и (5,4-7,4%). Наименьшее развитие получило заболевание фузариоз (1,6-2,2%). Использование фунгицидов привело к снижению уровня заражения болезнями, причём с увеличением интенсивности агротехнологии биологическая эффективность данных препаратов повышалась: при интенсивной до 78-95%, высокоинтенсивной – до 82-98%. На базовой агротехнологии данный показатель равнялся 72-93%. Самая высокая биологическая эффективность фунгицидов обеспечивалась у Московской 40 при высокоинтенсивной агротехнологии и заболеваемости септориозом и фузариозом – 97-98%.

Химические препараты, предназначенные для уничтожения насекомых-вредителей, до исхода растительного сезона, гарантировали твёрдую безопасность агрокультур (таблица 5). Среди вредителей преобладали цикадки (16,4-26,6%), клоп вредная черепашка (4,2-7,8%) и

шведская муха (0,6-2,2%). Наблюдалась зависимость повышения биоэффективности препаратов от уровня интенсивности агротехнологий, которая при базовой агротехнологии обеспечивалась на уровне 72-90%, интенсивной – 75-94% и высокоинтенсивной – 77-98%.

Таблица 4 – Биорезультативность химических веществ для борьбы с грибковыми болезнями на сортах озимой пшеницы различных технологий и развитие болезней в контрольном варианте (2018-2023 гг.), %

Table 4 – Bioeffectiveness of chemicals for control of fungal diseases on winter wheat varieties of different technologies and development of diseases in the control variant (2018-2023), %

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Технология (фактор В) / Technology (factor B)	Болезни / Diseases				
		Корневая гниль / Root rot	Снежная плесень / Snow mould	Мучнистая роса / Powdery mildew	Септориоз / Septoriosi	Фузариоз / Fusarium
Московская 40 / Moskovskaya 40	К	5,5-5,8	11,7-18,7	12,3-16,3	4,2-7,8	1,7-1,9
	1	77-80	79-82	75-93	85-92	89-90
	2	91-93	91-93	85-88	94-95	93-94
	3	94-96	94-95	94-97	97-98	97-98
Московская 27 / Moskovskaya 27	К	6,7-7,4	13,2-21,7	14,3-19,7	6,1-10,4	1,9-2,1
	1	74-79	77-80	72-76	87-92	84-87
	2	79-83	80-83	78-80	91-95	87-90
	3	82-91	84-89	82-87	95-97	92-95
Немчиновская 85 / Nemchinovskaya 85	К	5,4-6,2	11,5-17,3	11,8-15,9	4,5-8,1	1,6-2,2
	1	76-81	78-83	77-79	90-93	88-90
	2	90-94	90-93	88-92	89-92	92-94
	3	92-95	92-96	90-96	93-97	95-98

Примечание / Note: К – Контроль без обработки / Control without treatment, 1 – базовая / basic, 2 – интенсивная / intensive, 3 – высокоинтенсивная технология / highly intensive technology.

Таблица 5 – Биорезультативность химических препаратов, предназначенных для уничтожения насекомых вредителей на сортах озимой пшеницы различных технологий и поврежденность растений в контроле (2018-2023 гг.), %

Table 5 – Bioeffectiveness of chemical preparations designed to kill insect pests on winter wheat varieties of different technologies and plant damage in the control (2018-2023), %

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Технология (фактор В) / Technology (factor B)	Вредители / Pests			
		Клоп черепашка / Tortoise bedbug	Шведская муха / Swedish fly	Цикадки / Cicadas	Другие вредители / Other pests
Московская 40 / Moskovskaya 40	К	4,5-7,0	0,6-2,2	17,4-25,7	1,8-2,3
	1	78-81	73-75	75-76	87-90
	2	76-82	83-87	90-94	90-93
	3	90-93	77-81	91-96	92-94
Московская 27 / Moskovskaya 27	К	4,7-7,8	1,2-1,5	19,5-26,6	1,8-2,1
	1	75-79	72-74	73-76	86-89
	2	75-80	80-85	89-93	90-92
	3	89-82	79-82	93-98	91-94
Немчиновская 85 / Nemchinovskaya 85	К	4,2-6,7	0,7-2,1	16,4-23,4	1,6-2,5
	1	77-83	74-77	74-75	85-87
	2	75-81	84-88	91-94	89-92
	3	91-95	79-81	92-97	92-95

Примечание / Note: К – Контроль без обработки / Control without treatment, 1 – базовая / basic, 2 – интенсивная / intensive, 3 – высокоинтенсивная технология / highly intensive technology.

Число сорной растительности на базовой агротехнологии после обработки гербицидами снижалось в 13,1 раза, перед уборкой – в 21,4 раза; на интенсивной соответственно в 19,7 и 59,2 раза; на высокоинтенсивной соответственно в 48,2 и 120,5 раза. В связи с этим биологическая эффективность гербицидов на базовой технологии оценивалась в диапазоне от 92 до 95 %, на интенсивной технологии – от 95 до 98 %, а на высокоинтенсивной технологии – от 98 до 99 % (таблица 6).

Таблица 6 – Эффективность гербицидов в посевах озимой пшеницы Немчиновская 85 (2018-2023 гг.)
Table 6 – Effectiveness of herbicides in crops of winter wheat Nemchinovskaya 85 (2018-2023)

Вариант / Variant	Число сорняков, шт./м ² / Number of weeds, pcs./m ²			Биологическая эффективность / Biological efficacy	
	До обработки / Before treatment	После обработки / After treatment	Перед уборкой / Before cleaning	После обработки / After treatment	Перед уборкой / Before cleaning
Контроль (без обработки) / Control (without treatment)	232	239	197	–	–
Базовая / Basic	235	18	11	92	95
Интенсивная / Intensive	237	12	4	95	98
Высокоинтенсивная / High intensity	241	5	2	98	99

Без сомнения, комплексное задействование ресурсов борьбы с вредоносными объектами агрокультур от дикорастущих растений, вредителей и болезней при высоком уровне интенсивности возделывания сортов озимой пшеницы способствует оптимизации фитосанитарного состояния посевов и получению стабильного урожая зерна.

Заключение. При формировании высокопродуктивных агрофитоценозов пшеницы озимой региональной генетической работы на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья основная роль принадлежит сортовым агротехнологиям. Высокий уровень интенсификации возделывания сортов озимой мягкой пшеницы, предусматривающий дифференцированное применение минеральных удобрений и интегрированную систему защиты растений с высокой биологической эффективностью действия пестицидов (90% и выше) позволяет улучшить фотосинтетическую деятельность растений и получать в отдельные годы 10-12 т/га зерна. Среди изучаемых сортов лучшая отзывчивость на применяемые технологии отмечалась у сорта Немчиновская 85.

Conclusions. At formation of highly productive agrophytocenoses of winter wheat of regional genetic work on sod-podzolic soils of the Non-Chernozem region the main role belongs to varietal agro-technologies. High level of intensification of cultivation of winter soft wheat varieties, providing differentiated application of mineral fertilisers and integrated system of plant protection with high biological efficiency of pesticides (90% and higher) allows to improve photosynthetic activity of plants and receive in some years 10-12 t/ha of grain. Among the studied varieties, the best responsiveness to the applied technologies was observed in the variety Nemchinovskaya 85.

Библиографический список

1. Воловатов А. С., Тареев И. А. Эффективность предшественников озимой пшеницы в условиях сухостепной зоны тёмно-каштановых почв Нижнего Поволжья. Наука и молодёжь: новые идеи и решения: материалы Международной науч.-практ. конференции. Волгоград, 2018. С. 310-311.
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. Зеленев А. В., Семинченко Е. В. Элементы органического земледелия при возделывании озимой пшеницы в Нижнем Поволжье. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Международной науч.-практ. конференции. Волгоград, 2020. С. 149-155.
4. Seminchenko E. V., Guzenko A. V., Solonkin A. V. Testing of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties of ASC «Donskoy» on chestnut soils of the Volgograd region. Research on Crops. 2023. Vol. 24. № 2. Pp. 250-255.
5. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Пугачёва А. М. и др. Биоудобрения и минеральное питание – основа урожайности твёрдой пшеницы в зоне чернозёма южного Нижнего Поволжья. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2023. № 2 (56). С. 30-33.
6. Воронов С. И., Плескачев Ю. Н., Калабашкина Е. В. и др. Влияние гербицидов на продуктивность озимой пшеницы. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 2 (54). С. 40-44.
7. Егоров Н. М., Шурина В. А. Роль приёмов основной обработки в повышении запасов продуктивной влаги и урожайности сортов озимой пшеницы на каштановых почвах Волгоградской области. Наука и молодёжь: новые идеи и решения: материалы Международной науч.-практ. конференции. Волгоград, 2021. С. 347-351.
8. Зеленев А. В., Семинченко Е. В. Засорённость посевов озимой пшеницы в зависимости от севооборота. Агроэкология, мелиорация и защитное лесоразведение: материалы Международной науч.-практ. конференции. Волгоград, 2018. С. 484-488.
9. Воронов С. И., Киричкова И. В., Соломатин А. В. Влияние условий выращивания озимой пшеницы на фитосанитарное состояние посевов и продуктивность. Аграрная Россия. 2023. № 12. С. 13-17.
10. Воронов С. И., Плескачев Ю. Н., Зеленев А. В. и др. Пищевой режим почвы и урожайность сортов озимой пшеницы применительно к основной обработке чистого пара. Аграрная Россия. 2023. № 9. С. 9-15.

11. Зеленов А. В., Егоров Н. М. Физические свойства каштановой почвы и урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от приёмов основной обработки чистого пара. Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 3-12.
12. Тареев И. А., Воловатов А. С. Основная обработка тёмно-каштановых почв и сорта озимой пшеницы в Ростовской области. Наука и молодёжь: новые идеи и решения: материалы Международной науч.-практ. конференции. Волгоград, 2018. С. 392-394.
13. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Аксёнов М. П. и др. Отзывчивость яровой и озимой пшеницы на предпосевную обработку биопрепаратом. Вестник Курской ГСХА. 2023. № 9. С. 60-67.
14. Воронов С. И., Плескачев Ю. Н., Калабашкина Е. В. и др. Борьба с сорной растительностью в посевах озимой пшеницы. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 3 (55). С. 38-43.
15. Денисов К. Е., Макарова Е. С. Сравнительная оценка сортов озимой пшеницы по параметрам продуктивности в условиях Правобережья и Левобережья Саратовской области. Аграрные конференции. 2023. № 5 (41). С. 8-15.
16. Курбанов С. А., Магомедова Д. С., Валиев Т. Р. Влияние регуляторов роста на урожайность и параметры адаптивности перспективных сортов озимой мягкой пшеницы в условиях орошаемой зоны Дагестана. Аграрная Россия. 2023. № 6. С. 16-21.
17. Калашникова А. А., Симатин Т. В., Ерошенко Ф. В. и др. Влияние полифункциональных препаратов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 2 (16). С. 27-36.
18. Киричкова И. В., Муравьев А. А., Доронин В. С. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки почвы в условиях Нижнего Поволжья. Современные проблемы аграрной науки и пути их решения: материалы Всероссийской науч.-практ. конференции. Нальчик, 2023. С. 282-284.
19. Сарычев А. Н., Михальков Д. Е., Мищенко Е. В. и др. Особенности формирования урожайности и показателей качества зерна озимой пшеницы в агролесоландшафте. Аграрная Россия. 2023. № 10. С. 25-30.
20. Сеничев Е. И. Особенности формирования урожая озимой пшеницы при отвальной и нулевой обработке почвы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 3 (47). С. 54-60.
21. Зверева Г. Н., Беляев А. И., Петров Н. Ю. Влияние минерального питания на качественные показатели зерна сортов твёрдой пшеницы на чернозёме южном Волгоградской области. Новые технологии. 2023. Т. 19. № 3. С. 131-138.
22. Лаптина Ю. А., Набойченко К. В., Гиченкова О. Г. и др. Параметры адаптивности сортов озимой пшеницы в условиях Волгоградской области. Аграрная Россия. 2024. № 1. С. 11-18.
23. Лянденбургская А. В., Богомазов С. В., Ткачук О. А. и др. Формирование урожайности озимой пшеницы в зависимости от элементов биологизации технологии возделывания в лесостепи Среднего Поволжья: монография. Пенза: Пензенский ГАУ, 2023. 173 с.
24. Congera A., Barry M., Allen D., et al. Photosynthetic activity of winter wheat crops depending on the elements of cultivation technology in the Central Non-Chernozem region. Theoretical and Applied Problems of Agro-industry complex. 2023. Vol. 58. № 4. Pp. 26-34.

References

1. Volovatov A. S., Tareev I. A. Efficiency of winter wheat precursors in the conditions of dry-steppe zone of dark chestnut soils of the Lower Volga region. Science and youth: new ideas and solutions: materials of the International scientific - practical conferences. Volgograd, 2018. Pp. 310-311.
2. Voronov S. I. The state of selection and seed production of grain crops in the Russian Federation in the light of the adaptive-biosphere paradigm of agriculture. News of the International Academy of Agrarian Education. 2023. № 65. Pp. 41-44.
3. Zelenev A. V., Seminchenko E. V. Elements of organic farming in winter wheat cultivation in the Lower Volga region. Optimisation of agricultural land use and strengthening the export potential of the AIC of the Russian Federation on the basis of convergent technologies: materials of the International scientific - practical conferences. Volgograd, 2020. Pp. 149-155.
4. Seminchenko E. V., Guzenko A. V., Solonkin A. V. Testing of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties of ASC «Donskoy» on chestnut soils of the Volgograd region. Research on Crops. 2023. Vol. 24. № 2. Pp. 250-255.
5. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Pugacheva A. M. et al. Biofertilisers and mineral nutrition – the basis of durum wheat yield in the chernozem zone of the southern Lower Volga region. Theoretical and Applied Problems of Agro-industry complex. 2023. № 2 (56). Pp. 30-33.
6. Voronov S. I., Pleskachev Yu. N., Kalabashkina E. V., et al. Influence of herbicides on productivity of winter wheat. Problems of development of agro-industrial complex of the region. 2023. № 2 (54). Pp. 40-44.
7. Egorov N. M., Shkurina V. A. Role of main tillage methods in increasing productive moisture reserves and yield of winter wheat varieties on chestnut soils of Volgograd region. Science and youth: new ideas and solutions: materials of the International scientific - practical conferences. Volgograd, 2021. Pp. 347-351.
8. Zelenev A. V., Seminchenko E. V. Weediness of winter wheat crops depending on crop rotation. Agroecology, land reclamation and protective forestry: materials of the International scientific – practical conferences. Volgograd, 2018. Pp. 484-488.
9. Voronov S. I., Kirichkova I. V., Solomatina A. V. Influence of winter wheat growing conditions on phytosanitary condition of crops and productivity. Agrarian Russia. 2023. № 12. Pp. 13-17.
10. Voronov S. I., Pleskachev Yu. N., Zelenev A. V. et al. Soil nutrient regime and yield of winter wheat varieties in relation to main tillage of clean fallow. Agrarian Russia. 2023. № 9. Pp. 9-15.
11. Zelenev A. V., Egorov N. M. Physical properties of chestnut soil and yield of winter wheat varieties depending on the methods of main treatment of clean fallow. Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy. 2023. № 1 (45). Pp. 3-12.
12. Tareev I. A., Volovatov A. S. Basic treatment of dark chestnut soils and winter wheat varieties in Rostov region. Science and youth: new ideas and solutions: materials of the International scientific - practical conference. Volgograd, 2018. Pp. 392-394.

13. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Aksenov M. P., et al. Responsiveness of spring and winter wheat to pre-sowing treatment with biopreparation. Bulletin of Kursk State Agricultural Academy. 2023. № 9. Pp. 60-67.
14. Voronov S. I., Pleskachev Yu. N., Kalabashkina E. V., et al. Control of weed vegetation in winter wheat crops. Problems of development of agro-industrial complex of the region. 2023. № 3 (55). Pp. 38-43.
15. Denisov K. E., Makarova E. C. Comparative evaluation of winter wheat varieties on productivity parameters in the conditions of Right Bank and Left Bank of Saratov region. Agrarian conferences. 2023. № 5 (41). Pp. 8-15.
16. Kurbanov S. A., Magomedova D. S., Valiev T. R. Influence of growth regulators on yield and adaptability parameters of promising varieties of winter soft wheat in conditions of irrigated zone of Dagestan. Agrarian Russia. 2023. № 6. Pp. 16-21.
17. Kalashnikova A. A., Simatin T. V., Eroshenko F. V. et al. Influence of polyfunctional preparations on yield and grain quality of winter wheat in the zone of unstable humidification of the Stavropol Territory. Agricultural Journal. 2023. № 2 (16). Pp. 27-36.
18. Kirichkova I. V., Muravyov A. A., Doronin V. S. Productivity of winter wheat depending on the method of basic tillage in the conditions of the Lower Volga region. Modern problems of agrarian science and ways of their solution: materials of the All-Russian scientific - practical conferences. Nalchik, 2023. Pp. 282-284.
19. Sarychev A. N., Mikhalkov D. E., Mishchenko E. V., et al. Features of the formation of yield and quality indicators of winter wheat grain in the agroforestry landscape. Agrarian Russia. 2023. № 10. Pp. 25-30.
20. Senichev E. I. Features of winter wheat yield formation under mouldboard and zero tillage. Leguminous and cereal crops. 2023. № 3 (47). Pp. 54-60.
21. Zvereva G. N., Belyaev A. I., Petrov N. Yu. Influence of mineral nutrition on qualitative indices of durum wheat grain on southern chernozem of Volgograd region. New Technologies. 2023. Vol. 19. № 3. Pp. 131-138.
22. Laptina Yu. A., Naboychenko K. V., Gichenkova O. G. et al. Adaptability parameters of winter wheat varieties in conditions of Volgograd region. Agrarian Russia. 2024. № 1. Pp. 11-18.
23. Lyandenburskaya A. V., Bogomazov S. V., Tkachuk O. A. et al. Formation of winter wheat yield in dependence on elements of biologisation of cultivation technology in the forest-steppe of the Middle Volga region: monograph. Penza: Penza State Agrarian University, 2023. 173 p.
24. Congera A., Barry M., Allen D. et al. Photosynthetic activity of winter wheat crops depending on the elements of cultivation technology in the Central Non-Chernozem region. Theoretical and Applied Problems of Agro-industry complex. 2023. Vol. 58. № 4. Pp. 26-34.

Информация об авторах

Капранов Владимир Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026, г. Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9950-3663>, e-mail: kapr4nov.v@yandex.ru

Зеленев Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026, г. Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: Zelenev.A@bk.ru

Киселёв Евгений Фёдорович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026, г. Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3978-2520>, e-mail: dolgan08@mail.ru

Тегесов Дольган Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026, г. Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3978-2520>, e-mail: dolgan08@mail.ru

Плескачёв Николай Юрьевич, лаборант-исследователь лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026, г. Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4835-2812>, e-mail: plekachev77@yandex.ru

Author's Information

Kapranov Vladimir Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9950-3663>, e-mail: kapr4nov.v@yandex.ru

Zelenev Aleksander Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: Zelenev.A@bk.ru

Kiselyov Evgeny Fedorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5764-4868>, e-mail: papa-john-k@yandex.ru

Tegesov Dolgan Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3978-2520>, e-mail: dolgan08@mail.ru

Pleskachov Nikolay Yuryevich, research assistant, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4835-2812>, e-mail: plekachev77@yandex.ru

DEPENDENCE OF ONION YIELD ON WATER CONSUMPTION IN THE ASTRAKHAN REGION

¹Petrov N. Y., ¹Kuznetsov Yu. V., ¹Efremova E. N., ¹Ivanov V. A., ²Arylov Y. N.¹Volgograd State Agrarian University

Volgograd, Russian Federation

²Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov

Elista, Republic of Kalmykia, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 24.03.2024

Submitted 15.05.2024

Abstract

Introduction. When cultivating onions, the most urgent problem is to ensure the best conditions for plant development through optimal water supply. Watering affects the thermal regime, helps to regulate the temperature of the surface horizon of the soil and the surface layer of air, all this, together, contributes to the coordination of growth processes, increase the growth of various plant organs, improve the quality characteristics of the onion harvest. **Object.** The object of the study were 2 onion hybrids: Burgus (control) and Valero and irrigation and irrigation norms at different irrigation levels. **Materials and methods.** Conducting field surveys in the fields of the private enterprise Zvolinsky O.V., located on the territory of the Chernoyarsk district of the Astrakhan region, this is the southeastern European part of Russia (Northwestern Caspian Sea). **Results and conclusions.** Conducted 3-year studies in the arid zone of the Northern Caspian Sea showed that drip irrigation significantly influenced the formation of yield data of onions. Moreover, the studied irrigation levels had an impact on this indicator. Based on the obtained material, it can be noted that at a constant moisture level (70...70...70% HB), the average for three years was 6544 m³/ha, while at a differentiated irrigation level (80...80...70% HB) – 6927 m³/ha. This was reflected in the formation of yields and it amounted to 90.55 and 100.71 t/ha on the Burgus hybrid, respectively, and 97.34 and 107.52 t/ha on the Valero hybrid. The water consumption coefficient was equal for the Burgus hybrid – 81.33 and 76.87, and for the Valero hybrid – 75.66 and 72.00 m³/ha

Keywords: onions, onion irrigation, onion yield, onion water consumption, onion hybrids.

Citation. Petrov N. Yu., Kuznetsov Yu. V., Efremova E. N., Ivanov V. A., Arylov Y. N. Dependence of onion yield on water consumption in the Astrakhan region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74). 40-44 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-04.

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 final version presented.

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

УДК 635.25(470.44/.47)

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ЛУКА РЕПЧАТОГО ОТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ
В АСТРАХАНСКОМ РЕГИОНЕ¹Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹Кузнецов Ю. В., доктор сельскохозяйственных наук¹Ефремова Е. Н., доктор сельскохозяйственных наук, доцент¹Иванов В. А., соискатель²Арылов Ю. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

г. Волгоград, Российская Федерация

²Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

Актуальность. При возделывании лука репчатого наиболее актуальной проблемой является обеспечение наилучших условий развития растений путем оптимального водообеспечения. Полив оказывает влияние на тепловой режим, способствует регулировке температуры поверхностного горизонта почвы и приземного слоя воздуха, все это, в совокупности, способствует координации ростовых процессов, повышать рост разных органов растений, улучшать качественные характеристики урожая лука. **Объект.** Объектом изучения были 2 гибрида лука репчатого: Бургус (контроль) и Валеро и поливные и оросительные нормы при различных уровнях орошения. **Материалы и методы.** Проведение полевых изысканий на полях ИП «Зволинский О. В.», находящегося на территории Черноярского района Астраханской области, это юго-восточная европейская часть России (Северо-

Западный Прикаспий). **Результаты и выводы.** Проведенные трех летние исследования в аридной зоне Северного Прикаспия показали, что капельное орошение существенным образом оказывало влияние на формирование урожайных данных лука репчатого, причем изучаемые уровни полива воздействовали на данный показатель. Исходя из полученного материала можно отметить, что на постоянном уровне увлажнения (70...70...70% НВ) в среднем за три года площадь составила 6544 м³/га, в то время как на дифференцированном уровне полива (80...80...70% НВ) – 6927 м³/га. Это нашло отражение на формирование урожайности, и она составила на гибриде Бургус соответственно 90,55 и 100,71 т/га, а на гибриде Валеро – 97,34 и 107,52 т/га. Коэффициент водопотребления равнялся у гибрида Бургус – 81,33 и 76,87, а у гибрида Валеро – 75,66 и 72,00 м³/га

Ключевые слова: лук репчатый, орошение лука репчатого, урожайность лука репчатого, водопотребление лука репчатого, гибриды лука репчатого.

Цитирование. Петров Н. Ю., Кузнецов Ю. В., Ефремова Е. Н., Иванов В. А., Арылов Ю. Н. Зависимость урожайности лука репчатого от водопотребления в Астраханском регионе. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 40-44. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-04.

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. Южные регионы России, к составу которых относится астраханская зона, являются одной из основных зон производства товарного лука репчатого. Среднегодовые объемы его в регионе составляют порядка 265,0 тысяч тонн. Благоприятные почвенно-климатические характеристики региона и своевременные оперативные водно-мелиоративные мероприятия позволяют получать товарные урожаи лука [1, 4].

Лук репчатый относится к растениям очень водотребовательным. Это можно объяснить высокой обводненностью протоплазмы клеток растений, незначительной массой и слабо сосущей особенностью корневой системы. Максимальная потребность в воде требуется в период прорастания семян, роста листьев и образования лукович [3, 11].

В дальнейшем избыток влаги способствует сильному росту листьев, снижается формирование лукович и запаздывает их созревание.

При создании условий поливов, в том числе собственно дат их проведения, следует обратить пристальное внимание на ростовые характеристики растений, которые мы поливаем, и их реакцию на степень увлажнения пахотного слоя [5, 9].

Технологические способы производства лука в регионе опираются на совместном использовании перспективных высокопродуктивных гибридов отечественного и импортного происхождения, применения необходимого количества питания, обработке стимуляторами роста и высокочувствительными гербицидами.

Данная почвенно-климатическая зона – это уникальная зона для промышленного выращивания лука-репки на поливе. Этому способствует довольно длительный безморозный период до – 168 суток, быстрое и активное наступление весны, жаркое и сухое лето, довольно теплая и сухая осень, с длительностью солнечного сияния 2200 часов в году. Все более возрастающий спрос на лук ведет за собой расширение ареала его производства, чтобы полностью удовлетворять потребность лука на душу населения (10 килограмм) [4, 10].

В 90-х годов XX столетия индустриальная технология возделывания лука репчатого, с анализом зональных особенностей, позволила получать урожайность лука до 20,0 т/га с уменьшением трудоемкости в 1,7...2,0 раза, по сравнению с существующими фактическими затратами труда. При таких технологиях выращивания, когда размер и качественные показатели получаемого урожая всецело зависит от правильности поддержания заданной увлажненности почвы и питательного режима растений, следует более эффективно применять капельный полив, согласно научным материалам рост урожайности на капельном поливе, по сравнению с дождеванием, равняется 50-90% [7].

Материалы и методы. Опыты проводились на полях ИП «Зволинский О. В.», расположенного в юго-восточной европейской части России (Северо-Западный Прикаспий), на землепользовании Черноярского района Астраханского региона. Почвы опытного участка представлены подтипом светло-каштановых, слабо солонцеватых почв. По классификации Н. А. Качинского (1965), почвенный покров опытных делянок по гранулометрическому составу представлен как суглинистый, комковато-зернистый, с содержанием глины в слое

0,0...0,3 м – 26,2%. Содержание гумуса в пахотном горизонте почвы (по Тюрину) 0,21...1,20%, рН 6,8...7,2, сумма поглощённых оснований 18,4...18,9 мг/экв. на 100 г почвы, наличие (по Керсанову) NO₃ – 0,46, P₂O₅ – 2,29, K₂O – 25,15 мг/100 г почвы.

Расчет внесения минеральных удобрений производился на планируемую урожайность 100,0 т/га, по методике разработанный на Опытной станции по программированию урожая Волгоградской ГСХА. Согласно утвержденным требованиям на получение одной тонны продукции лука репчатого, с учетом побочной, необходимо N – 3,0; P₂O₅ – 1,2 и K₂O – 4,0 кг. В итоге произведенных расчетов было получено, что на формирование:

– 100 т/га – азота – 300 кг/га, фосфора – 120 кг/га и калия – 400 кг/га.

Схема внесения минеральных удобрений в посевах лука
Scheme of mineral fertilizer application in onion crops

Вид / Type	Под основную обработку / For the main treatment	1-я подкормка (3 листа) / 1st feeding (3 leaves)	2-я подкормка / 2nd feeding
Азот / Nitrogen	150	75	75
Фосфор / Phosphorus	80	20	20
Калий / Potassium	200	100	100

Способ посева лука – ленточный, четырехстрочный. Норма посева выполнялась для достижения 850 тыс. растений на гектар, что отвечала весовой норме высева 4 кг/га.

1. Контроль (без обработки стимулятора роста).

2. Гумат калия жидкий торфяной. Трехкратная внекорневая обработка: 1-я – в фазу появления 2...3 листьев, 2 и 3-я – с интервалом 1...12 суток. Расход препарата – 0,4 л/га (рабочего раствора – до 300 л/га).

Таблица 1 – Схема полива при разных режимах орошения
Table 1 – Irrigation scheme under different irrigation regimes

Фаза развития / Developmental phase	Режим полива / Watering mode					
	70...70...70% НВ			80...80...70% НВ		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Посев / Sowing	241	225	236	269	254	259
Посев – 1-й лист / Sowing – 1st leaf	1087	1006	1047	1204	1141	1186
1-й лист – формирование луковицы / 1st leaf – bulb formation	1732	1561	1603	1864	1638	1756
Формирование луковицы – полегание / Bulb formation – lodging	3724	3549	3621	3862	3605	3743
Оросительная норма / Irrigation rate	6784	6341	6507	7199	6638	6944

Таблица 2 – Водопотребление лука репчатого, среднее за 2021-2023 гг.
Table 2 – Water consumption of onions, average for 2021-2023

Гибрид / Hybrid	Режим полива / Watering mode	Оросительная норма, м ³ /га / Irrigation rate, m ³ /ha	Суммар. водопот., м ³ /га / Summar. water, m ³ /ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Коэфф. водопотр., м ³ /га / Coeff. water, m ³ /ha
Бургус / Burgus	Постоянный / permanent	6544	7365	90,55	81,33
	Дифференцированный / Differentiated	6927	7742	100,71	76,87
Валеро / Valero	Постоянный / permanent	6544	7365	97,34	75,66
	Дифференцированный / differentiated	6927	7742	107,52	72,00

Анализ запасов влаги в почвенном горизонте определяли в день посева, атмосферные осадки – во время вегетации, оросительные нормы в период вегетации растений, что в итоге позволило сформировать суммарное водопотребление и коэффициент водопотребления. Данные таблиц 1 и 2 позволяют оценить действенность использования водных ресурсов при разных режимах орошения.

Аналитический обзор приведенного материала свидетельствует, что на постоянном режиме полива оросительная норма равнялась – 6544 м³/га, а на дифференцированном уровне полива – 6927 м³/га. В результате коэффициент водопотребления на постоянном режиме у гибрида Бургус составлял 81,33, а у гибрида Валеро – 75,66 м³/га. С применением дифференцированного уровня полива коэффициент водопотребления принимал значения 76,87 и 72,00 м³/га. Различия в значениях суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления в аридной зоне Астраханского региона на подтипе светло-каштановых почв позволили сформировать урожайность гибридов лука репчатого на постоянном поливе – 90,55 и 97,34 т/га, а на дифференцированном поливе – 100,71 и 107,52 т/га.

Заключение. Применение регулятора роста и расчетных доз минеральных удобрений под районированный и современный гибриды лука репчатого положительно отразились на динамике роста урожайности. Наибольшие значения ее были получены на гибриде Валеро с применением дифференцированного порога увлажнения (80...80...70% НВ) на фоне внесения расчетного количества минерального питания N₃₀₀P₁₂₀K₄₀₀ (под урожайность 100 т/га).

Conclusions. The use of a growth regulator and estimated doses of mineral fertilizers for zoned and modern onion hybrids had a positive effect on the dynamics of yield growth. Its highest values were obtained on the Valero hybrid using a differentiated moisture threshold (80... 80... 70% of HB) against the background of the application of the estimated amount of mineral nutrition N₃₀₀R₁₂₀K₄₀₀ (for a yield of 100 t/ha).

Библиографический список

1. Борисов В. А., Хавронин А. В., Бебрис А. Р., Флирозе Н. А., Монахос Г. Ф. Действие удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество гибридов лука репчатого, выращенных в однолетней культуре при капельном орошении. Овощи России. 2018. № (4). С. 89-93.
2. Галеев Р. Р., Зизина Я. Ф. Эффективность агротехнических приемов возделывания лука репчатого в однолетней культуре в лесостепи Западной Сибири. Вестник БГСХА. 2014. № 12. С. 84-88.
3. Калмыкова Е. В., Петров Н. Ю. Комплексные водорастворимые удобрения в технологии возделывания овощных культур в условиях Нижнего Поволжья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 29-31.
4. Калмыкова Е. В., Петров Н. Ю., Павленко В. Н. Современные адаптивные технологии возделывания овощных культур в условиях Нижнего Поволжья. Нива Поволжья. Пензенский ГАУ. 2017. № 4. С. 82-88.
5. Калмыкова Е. В., Петров Н. Ю., Нарушев В. Б. Продуктивность лука репчатого при применении регулятора роста Энергия-М. Аграрный научный журнал. Саратов: Изд-во ООО «Амиринт», 2018. № 2. С. 7-11.
6. Калмыкова Е. В., Петров Н. Ю., Калмыкова О. В., Зволинский В. В. Эффективные элементы возделывания репчатого лука при капельном орошении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1. С. 51-58.
7. Мойсевич Н. В. Оптимизация технологических приемов выращивания семян лука репчатого. Овощи России. 2011. № 2. С. 43-46.
8. Федорова В. А., Матвеева Н. И., Пучков М. Ю., Зволинский В. П., Калмыкова Е. В., Петров Ю. Н. Оптимизация овощных севооборотов Северного Прикаспия (Лук репчатый в Нижнем Поволжье): монография. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. 2018. 188 с.
9. Пацуря Д. В., Федоров Д. Н. Оптимальная густота стояния лука. Картофель и овощи. 2014. № 7. С. 22-23.
10. Федяй В. П. Механизация уборки лука в Приморье. Картофель и овощи. 2015. № 10. С. 28.
11. Щедрин В. Н., Кулыгин В. А. Особенности водопотребления овощных культур по периодам вегетации при орошении. Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 2. С. 28–31.
12. Dan D., Manin D., Barbuisita Ju. Economic efeciencyo fonionenl tureen derthein ftuectofiech nofogicalffctors. Agricultura. 2012. V. 21. № 12. Pp. 17-24.

References

1. Borisov V. A., Khavronin A. V., Bebris A. R., Fliroze N. A., Monakhos G. F. The effect of fertilizers and growth regulators on the yield and quality of onion hybrids grown in annual culture with drip irrigation. Vegetables of Russia. 2018. № 4. Pp. 89-93.
2. Galeev R. R., Zizina Ya. F. The effectiveness of agrotechnical methods of onion cultivation in annual culture in the forest-steppe of Western Siberia. Bulletin of the BGSHA. 2014. No. 12. Pp. 84-88.
3. Kalmykova E. V., Petrov N. Yu. Complex water-soluble fertilizers in the technology of cultivation of vegetable crops in the conditions of the Lower Volga region. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 2. Pp. 29-31.
4. Kalmykova E. V., Petrov N. Yu., Pavlenko V. N. Modern adaptive technologies of cultivation of vegetable crops in the conditions of the Lower Volga region. Niva of the Volga region. Penza State University. 2017. No. 4. Pp. 82-88.

5. Kalmykova E. V., Petrov N. Yu., Narushev V. B. Productivity of onions when using the growth regulator Energia-M. Agrarian Scientific Journal. 2018. No. 2. Pp. 7-11.
6. Kalmykova E. V., Petrov N. Yu., Kalmykova O. V., Zvolinsky V. V. Effective elements of onion cultivation with drip irrigation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity complex: science and higher professional education. 2018. No. 1. Pp. 51-58.
7. Moisevich N. V. Optimization of technological methods for growing onion seeds. Vegetables of Russia. 2011. No. 2. Pp. 43-46.
8. Fedorova V. A., Matveeva N. I., Puchkov M. Yu., Zvolinsky V. P., Kalmykova E. V., Petrov Y. N. Optimization of Vegetable Crop Rotations in the Northern Caspian Region (Onion in the Lower Volga Region): Monograph. Volgograd: Volgograd State Agrarian University. 2018. 188 p.
9. Patsuriya D. V., Fedorov D. N. Optimal density of onion standing. Potatoes and vegetables. 2014. No. 7. Pp. 22-23.
10. Fedyai V. P. Mechanization of onion harvesting in Primorye. Potatoes and vegetables. 2015. No. 10. P. 28.
11. Shchedrin V. N., Kulygin V. A. Features of water consumption of vegetable crops by vegetation periods during irrigation. Melioration and water management. 2011. No. 2. Pp. 28-31.
12. Dan D., Manin D., Barbuisita Ju. Economic efficiency of onion production in the southern part of the Republic of Kalmykia. Agricultura. 2012. V. 21. № 12. Pp. 17-24.

Информация об авторах

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры Технологии перерабатывающих и пищевых производств, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Кузнецов Юрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, декан факультета Перерабатывающих и пищевых систем, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: kuv@mail.ru

Ефремова Елена Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологий производства и экспертизы товаров, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: Elenalob@rambler.ru

Иванов Виктор Анатольевич, старший преподаватель кафедры Право и социально-гуманитарные дисциплины, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), ivanov.viktor-93@yandex.ru

Арылов Юрий Нимеевич, доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии и животноводства ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, д. 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmsaiga@mail.ru

Author's Information

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Technology of Processing and Food Production, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Kuznetsov Yuri Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Processing and Food Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: kuv@mail.ru

Efremova Elena Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Production Technologies and Product Expertise of Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: Elenalob@rambler.ru

Ivanov Viktor Anatolievich, Senior Lecturer at the Department of Law and Socio-Humanitarian Disciplines, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), ivanov.viktor-93@yandex.ru

Arylov Yuri Nimeevich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Animal Husbandry, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmsaiga@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-05

DEPENDENCE OF THE RESISTANCE OF LIGHT CHESTNUT SOIL TO WATER AND WIND EROSION ON ITS STRUCTURAL COEFFICIENT

Fedotova A. V., Petrov Yu. N., Zotov E. S.

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

Corresponding author E-mail: berkuth@yandex.ru

Received 21.03.2024

Submitted 14.05.2024

The study was carried out within the framework of the State task "Digital technologies for managing agroforestry systems based on mathematical modeling, dynamic characteristics of the bioproductivity of forest strips and agrophytocenoses in the changing climate of the South of Russia"

Abstract

Introduction. In recent years, the science of agriculture has been paying great attention to the preservation of soil fertility and the selection of new territories for their introduction into crop rotations. The first step to this is to study the structural condition of soils. There is a tendency to decrease fertility and de-

rioration of the structural and aggregate composition of the soil cover of agricultural soils. **Object.** The object of the study was an intensive level 2 test site of the Kamyshin type, located in the Manychsko-Don province of the dry steppe zone on the Volga upland within the boundaries of the Nizhnevolzhskaya tree species breeding station in the Kamyshinsky district of the Volgograd region. **Materials and methods.** The dividing parts of the catchments of the Kirpichny sukhodola, which flows into the Kamyshinka River and into the Kamyshinsky Bay, as well as the Belenky sukhodola, which flows into the Volga River, were studied. The landscape area is the Ilovlin'sky-Volzhsy stratified table-step strongly dissected by a ravine-girder network. The total land area of the Nizhnevolzhskaya station is 664 hectares, including the area of 4 plots with massive forest plantations and linear erosion control plantings is 646 hectares. **Results and conclusions.** The structural coefficient was calculated using the formula: $K_{str} = (\sum(10-0.25mm)) / (\sum(>10mm, <0.25mm))$ and based on it, the soil was characterized according to the following gradation: >1.5 – excellent aggregate condition; 1.5-0.67 – good; <0.67 – unsatisfactory. The proportion of agronomically valuable aggregates in the studied samples was determined. Aggregates exceeding the range in size were classified as agronomically inferior.

Keywords: coefficient of soil structure, nature-dividing part of water intake, water erosion, wind erosion.

Citation. Fedotova A. V., Petrov Yu. N., Zotov E. S. Dependence of the resistance of light chestnut soil to water and wind erosion on its structural coefficient. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 44-52 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-05.

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 631.459

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СВЕТЛО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ ВОДНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИЯМ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ЕЕ СТРУКТУРНОСТИ

Федотова А. В., доктор биологических наук, профессор
Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
Зотов Е. С., 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 «Цифровые технологии управления агролесосистемами на основе математического моделирования, динамических характеристик биопродуктивности лесных полос и агрофитоценозов в условиях изменяющегося климата Юга России»

Актуальность. В последние годы наука сельского хозяйства уделяет большое внимание вопросам сохранения плодородия почв и выбора новых территорий для введения их в севообороты. Первым шагом к этому является изучение структурного состояния почв. Отмечается тенденция снижения плодородия и ухудшения структурно-агрегатного состава почвенного покрова почв сельскохозяйственного назначения. **Объект.** Объектом исследования являлся тестовый полигон интенсивного уровня 2-го типа «Камышин», расположенный в Маньчско-Донской провинции сухостепной зоны на Приволжской возвышенности в границах Нижневолжской станции по селекции древесных пород в Камышинском районе Волгоградской области. **Материалы и методы.** Исследовались приводораздельные части водосборов суходола Кирпичный, впадающего в р. Камышинка и в Камышинский залив, а также суходола Беленький, впадающего в р. Волга. Ландшафтный район – Иловлинско-Волжский пластовый столово-ступенчатый сильно расчлененный овражно-балочной сетью. Общая площадь земель Нижневолжской станции составляет 664 га, в том числе площадь 4 участков с массивными лесными насаждениями и линейными противозерозионными насаждениями составляет 646 га. **Результаты и выводы.** Рассчитывался коэффициент структурности по формуле: $K_{стр} = \frac{\sum(10-0.25mm)}{\sum(>10mm, <0.25mm)}$ и на его основе была дана характеристика почвы по следующей градации: >1.5 – отличное агрегатное состояние; 1.5-0.67 – хорошее; <0.67 – неудовлетворительное. Была определена доля агрономически ценных агрегатов в исследуемых образцах. Агрегаты, по размерам выходящие за диапазон, были отнесены в категорию агрономически неценных.

Ключевые слова: коэффициент структурности почвы, природораздельная часть водозабора, водная эрозия, ветровая эрозия.

Цитирование. Федотова А. В., Петров Ю. Н., Зотов Е. С. Зависимость сопротивляемости светло-каштановой почвы водной и ветровой эрозиям от коэффициента ее структурности. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 44-52. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-05.

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. Физические свойства каштановых почв рассматривались многими авторами, пришедшими к собственным выводам, при изучении которых была составлена обобщенная информация.

Исследования показателя плодородия почв напрямую опираются на результаты вычисления доли агрономически ценных агрегатов в пахотных слоях почвенного покрова, в частности в слое 0,00...0,10 м и слое 0,10...0,20 м, на которых проводится основная механическая обработка с целью дальнейшего улучшения качества и количества урожайности [5].

Основополагающим показателем качества структуры почвы являются агрегаты размером от 0,25 до 10 мм [1]. Авторы пришли к мнению, что в условиях сельскохозяйственного производства в результате интенсивного выпадения атмосферных осадков образуются пылеватые мелкие фракции размером менее 0,25 мм, что значительно ухудшает условия жизни растений и снижает урожай.

Формирование агрегатов – сложный вопрос, обусловленный влиянием совокупности 3-х важных факторов: минералов, поглощенных катионов и гумусовых веществ [10]. В поверхностных слоях кристаллической решетки минералов благодаря силам адгезии происходит закрепление гумусовых веществ, образуются органоминеральные комплексы, представляющие собой микроагрегаты. Непосредственное участие в формировании таких микроагрегатов принимают поглощенные катионы, обуславливая прочность структур.

Гранулометрический состав используется как основа для расчета количества оросительных и промывных поливов. При реализации мероприятий, направленных на повышение продуктивности почв, важно составлять картограммы гранулометрического состава почв, особенно для территорий, где необходимо осуществлять промывку солей [4].

Исследования в области изменения соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов доказали, что макроагрегаты (в том числе водоустойчивые) неоднородны в своем распределении [12]. При восстановлении структуры увеличивается доля крупных водоустойчивых агрегатов, что связано, по-видимому, с приобретением водоустойчивости ранее неводоустойчивых агрегатов естественного сложения.

Почвы тяжелого гранулометрического состава изначально обладают схожими агрофизическими и агрохимическими свойствами. Гранулометрический состав (текстура) – одно из важнейших базовых свойств почвы, которое ей передается по «наследству» [6]. Также, важно отметить, что исследования должны проводиться на агрегатах с одинаковой (близкой) влажностью при атмосферном давлении. У нераспавшихся агрегатов прочность и количество контактов в агрегатах тем больше, чем дольше они не распадаются [2].

В работе Л. Т. Монгуш [8] представлен структурно-агрегатный анализ почв под многолетними травами. В ней были сделаны выводы, что посевы многолетних трав благоприятно воздействуют на структуру темно-каштановой почвы в условиях Республики Тыва. Наиболее высокие показатели структурности характерны для верхнего слоя почвы 0,0...0,10 м, количество агрономически ценных агрегатов и коэффициент структурности понижаются с верхнего слоя к нижележащим.

Гранулометрический состав почв оказывает большее влияние на флористический состав лесной растительности. Наибольшее флористическое сходство наблюдается между лесными сообществами теневых склонов и плакоров [7].

В то же время при определении структурного состава почвы методами дистанционного зондирования Ф. Т. Г. Казимова выяснила, что в методе дистанционного спектрального определения структурного состава почвы не учитывается воздействие аэрозольного фактора приводит к фактической неработоспособности метода и, как следствие, к искажению полученных данных [3].

В Камышинском районе Волгоградской области проводятся исследования по изучению структурного состояния почвенного покрова. На опытных площадках была произведена работа по отбору почвенных образцов и дальнейшего изучения их структурного состава. **Целью** данной работы является получение достоверных данных о состоянии почв этого района, а также о возможности использования их в сельскохозяйственных целях и установления зависимости сопротивляемости светло-каштановой почвы водной и ветровой эрозиям от коэффициента ее структурности.

Материалы и методы. Тестовый полигон интенсивного уровня 2-го типа «Камышин», расположенного в Манычско-Донской провинции сухостепной зоны на Приволжской возвышенности в границах Нижневолжской станции по селекции древесных пород в Камышинском районе Волгоградской области. Территория полигона представлена приводо-раздельными частями водосборов суходола Кирпичный, впадающими в р. Камышинка и в Камышинский залив, а также суходола Беленький, впадающего в р. Волга. Ландшафтный район – Иловлинско-Волжский пластовый столово-ступенчатый сильно расчлененный овражно-балочной сетью. Общая площадь земель Нижневолжской станции составляет 664 га, в том числе площадь 4 участков с массивными лесными насаждениями и линейными противозерозионными насаждениями составляет 646 га. Географические координаты крайних точек на полигоне: северная – N50°04'52,8", E45°21'15,6"; восточная – N50°04'37,9", E45°22'38,3"; южная – N50°04'14,6", E45°21'12,9"; западная – N50°04'46,7", E45°21'06,8".

Для проведения исследования было заложено 5 пробных площадок, на каждой из которых располагалось 3 почвенных разреза. Для описания участка было проведено подробное изучение каждой пробной площадки, на основе которого проводилась дальнейшая работа.

Участок КЛ представляет собой задернованный, облесенный эолово-аккумулятивный ландшафт. Уклон составляет менее 1°. Почвенный покров участка характеризуется наличием почв с двучленным профилем. Верхние 40 см представлены молодой эмбриональной почвой, развитой на эоловом наносе. Последующая сельскохозяйственная деятельность осуществлялась по наносному песчаному материалу, о чем свидетельствует наличие в песчаных пахотных горизонтах, припаханных морфонов нижележащих пахотных горизонтов погребенных почв. По классификации почв WRB-2022 г. все почвы относятся к реферативно-почвенной группе Kastanozems.

Участок КС представлен равнинной постагрогенной местностью, с общим уклоном поверхности 4°. Экспозиция юго-восточная, южная, юго-западная, западная. Почвенный покров также характеризуется наличием почв с двучленным профилем. Согласно классификации WRB-2022 г. почвы идентифицированы как Greyzemic, Kastanozems (наличие карбонатного горизонта на глубине <50 см от нижней границы гумусового горизонта).

Отбор почвенных образцов проводился из почвенных разрезов. Для изучения агрегатного состояния использовали метод сухого просеивания со стандартным набором сит (10, 7, 5, 3, 1, 0,5, 0,25, 0,063 мм) по Саввинову. Рассчитывался коэффициент структурности по формуле:

$$K_{\text{стр}} = \frac{\sum(10 - 0.25\text{мм})}{\sum(> 10\text{мм}, < 0.25\text{мм})}$$

и на его основе была дана характеристика почвы по следующей градации:

>1.5 – отличное агрегатное состояние; 1.5-0.67 – хорошее; <0.67 – неудовлетворительное.

Была определена доля агрономически ценных агрегатов в исследуемых образцах. Агрегаты, по размерам выходящие за диапазон, были отнесены в категорию агрономически неценных.

Результаты и обсуждение. Распределение агрегатов по размеру представлено на рисунках 1...4.

Для участка КЛ в поверхностном слое преобладают агрегаты размером 0,25-0,063 мм (52,79%), для которых наблюдается наибольшая вариабельность в пространстве. Наименьшая доля соответствует агрегатам размерами 5 и более мм (4,06%), а также мелкому менее 0,063 мм (1,69%).

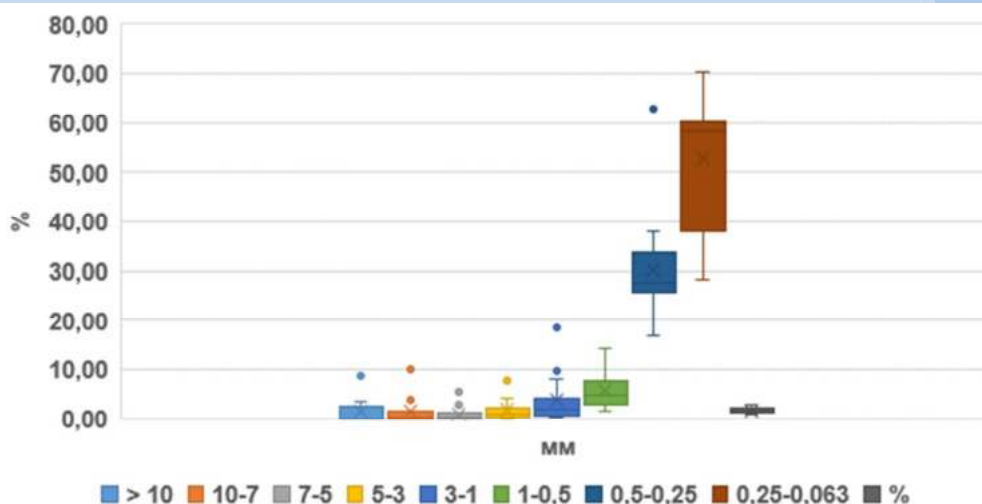


Рисунок 1 – Распределение агрегатов по размеру для участка КЛ для слоя 0-10 см
Figure 1 – Size distribution of aggregates for the CL section for the 0-10 cm layer

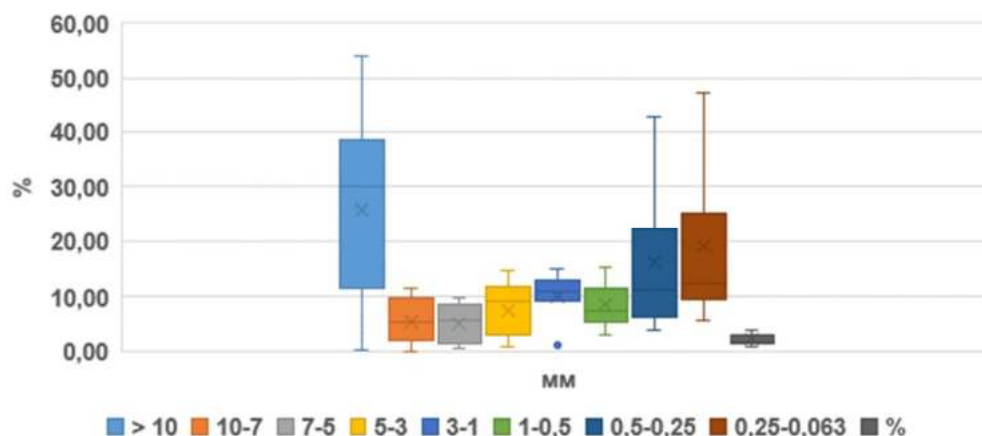


Рисунок 2 – Распределение агрегатов по размеру для участка КС для слоя 0-10 см
Figure 2 – Size distribution of aggregates for the CS section for the 0-10 cm layer

На участке КС в исследуемом слое 0,00...0,10 м выявлено наибольшее содержание агрегатов размеров более 10 мм (25,80%), для которых отмечена наибольшая пространственная вариабельность. Минимальная доля соответствует агрегатам размерами от 3 мм до 0,5 мм (18,54%), а также мелкозёму <0,063 мм (2,11%).

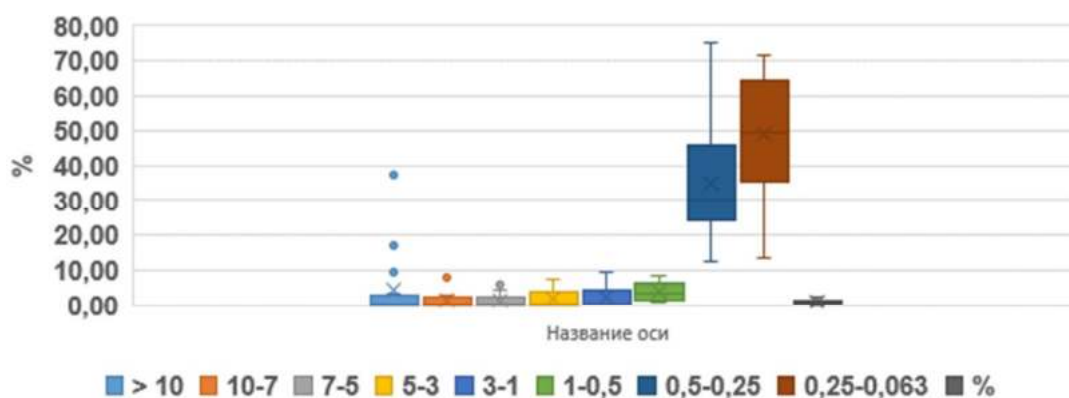


Рисунок 3 – Распределение агрегатов по размеру для участка КЛ для слоя 10-20 см
Figure 3 – Distribution of aggregates by size for a section of CL for a layer of 10

Доля агрегатов размером 0,250...0,063 мм преобладает на участке КЛ в слое 0,10...0,20 м (48,7%), она также является наиболее пространственно вариабельной. Минимальное же значение установлено агрегатами размером от 1 мм до 0,5 мм (3,87%).

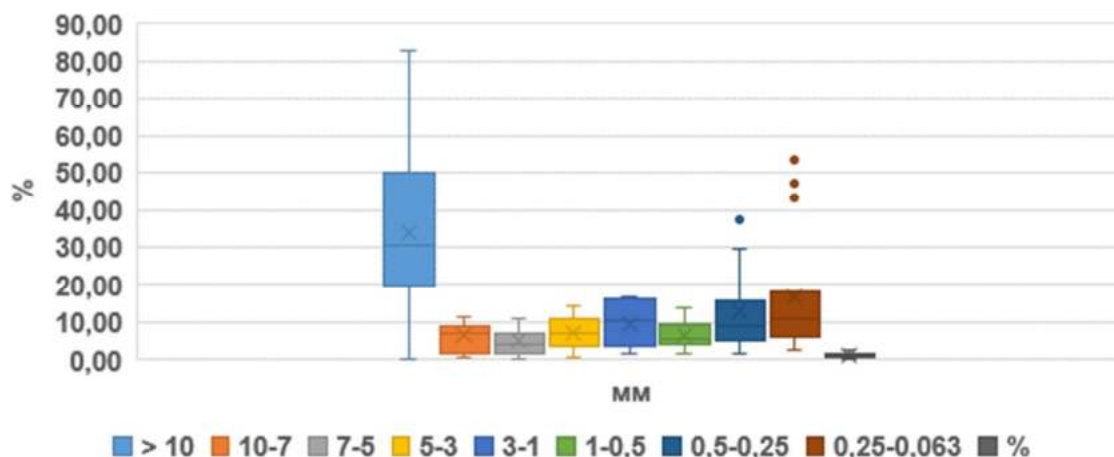


Рисунок 4 – Распределение агрегатов по размеру для участка КС для слоя 10-20 см
Figure 4 – Distribution of aggregates by size for the CS section for a layer of 10-20 cm

На участке КС в слое 0,10...0,20 м значительно преобладает доля агрегатов размерами >10 мм (34,06%), что также является наиболее пространственно-вариабельной долей среди всех агрегатов этого слоя. Наименьшее значение принадлежит мелкозему менее 0,063 мм.

Коэффициенты структурности в слое 0,00...0,10 м составили 0,89 и 1,18 для КЛ и КС, соответственно. В слое 0,10...0,20 м 1,00 и 1,07. Несмотря на наличие достоверных различий в показателях К стр., в целом структурное состояние всех участков оценивается как хорошее.

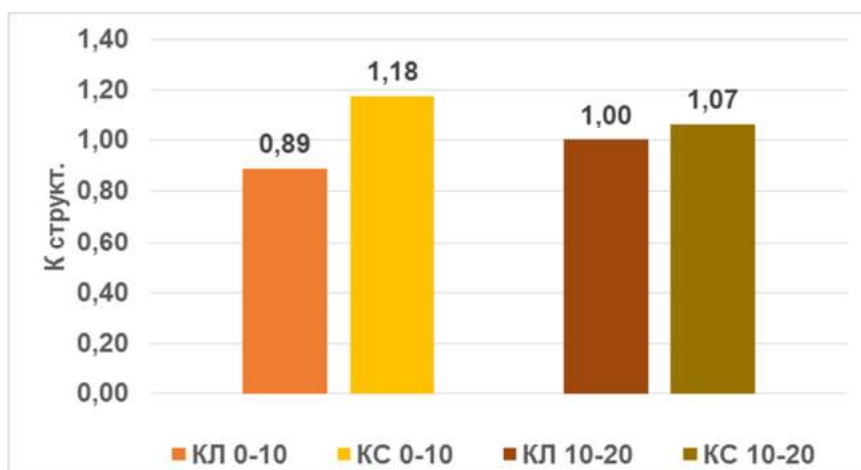


Рисунок 5 – Показатель К структурности для исследуемых площадок
Figure 5 – The indicator is the structural coefficients for the studied sites

Анализ данных проводился с использованием стандартной описательной статистики. Результаты представлены в таблице 1.

По данным таблицы 1 видно, что среднее значение агрономически ценных агрегатов в слое 0,00...0,10 м на участке КЛ меньше, чем на участке КС (43,93% на участке КЛ и 53,01% на участке КС). В слое 0,10...0,20 м эта разница существенно сокращается (45,71% для КЛ и 47,78% для КС). Объясняется это тем, что при увеличении глубины на участке КС появляется явное преобладание агрегатов размером 0,250...0,063 мм, которые не относятся к доле агрономически ценных.

Таблица 1 – Статистические данные для доли агрономически ценных агрегатов на участках КЛ и КС в слоях 0,00...0,10 м и 0,10...0,20 м

Table 1 – Statistical data for the proportion of agronomically valuable aggregates in CL and CS plots in layers of 0.00...0.10 m and 0.10...0.20 m

	КЛ / CL		КС / CS	
	0-10	10-20	0-10	10-20
$\bar{x}$	43,93	45,71	53,01	47,78
$\tilde{x}$	39,62	46,94	52,39	51,42
min	28,81	26,12	39,53	14,15
max	69,79	77,45	64,11	67,72
V	11,88	13,53	7,17	15,12
σ	3,07	3,49	1,92	4,04

Медиана в таблице 1 показывает, что срединное значение в слое 0,00...0,10 м на участке КЛ намного меньше, чем на участке КС: 39,62% для КЛ и 52,39% для КС. Однако в слое 0,10...0,20 м это значение для КЛ составит 46,94%, а для КС 51,42%. Это говорит о том, что доля агрономически ценных агрегатов увеличивается с глубиной на участке КЛ, однако на участке КС этот показатель всё равно является наибольшим.

Минимальное значение, как и максимальное, дает представление о границах показателя доли агрономически ценных агрегатов в обоих слоях почвы на участках КЛ и КС. Из этих результатов в дальнейшем рассчитывается размах выборки: для слоя 0,00...0,10 м на участке КЛ он составляет 40,97%, а для участка КС – 24,59. В слое 0,10...0,20 м для КЛ и КС 51,34% и 53,57%, соответственно.

Коэффициент вариации показал однородность полученных результатов. Была дана оценка этого показателя для каждого слоя на каждом участке: КЛ 0-10 см – средняя степень рассеивания данных, КС 0-10 см – незначительная, КЛ и КС 10-20 см – средняя степень рассеивания.

Ошибка среднего или ошибка репрезентативности является показателем того, насколько выборочное среднее арифметическое отличается от генерального среднего. В данном случае, она показывает, что выборка является достоверной, «чистой».

Заключение. В результате проведенных исследований установлен структурно-агрегатный состав почв Камышинского района Волгоградской области. Рассчитаны показатели коэффициента структурности, доли агрономически ценных агрегатов, а также статистические параметры для исследуемых участков. Оценено влияние коэффициента структурности и агрономически ценных агрегатов на качественное состояние и почвы.

Установлено, что показатель сопротивляемости почв водной и ветровой эрозиям, который находится в прямой зависимости от коэффициента структурности: чем выше К стр., тем больше сопротивляемость. Также эта закономерность отражается и на пригодности почвы для сельскохозяйственных нужд, потенциале введения в севооборот и дальнейшее количество урожайности.

Исходя из полученных коэффициента структурности был сделан вывод о том, что почвы на пробной площадке КС в слоях 0,00...0,10 и 0,00...0,20 м почвы являются более агрономически ценными и, как следствие, более пригодными для возделывания сельскохозяйственных культур, чем почвы в тех же слоях на площадке КЛ. Объясняется это преобладанием агрегатов по размерам больше 10 мм и меньше 0,25 мм на всех слоях участка КЛ, что также влияет на показатель агрономически ценных агрегатов. Доля агрономически ценных агрегатов в слое 0,00...0,10 м на участке КЛ составляет среднее значение 43,93%, а на участке КС – 53,01%. Похожая картина наблюдается также в слое 0,10...0,20 м: для КЛ значение этого показателя составляет 45,71%, а для КС – 47,78%.

Conclusions. As a result of the research, the structural and aggregate composition of soils in the Kamyshinsky district of the Volgograd region was established. The indicators of the coefficient of structure, the share of agronomically valuable aggregates, as well as statistical parameters for the studied plots are calculated. The influence of the coefficient of structurality and agronomically valuable aggregates on the qualitative state of soils is estimated.

It has been established that the index of soil resistance to water and wind erosion, which is directly dependent on the coefficient of structure: the higher the K page, the greater the resistance. This pattern is also reflected in the suitability of the soil for agricultural needs, the potential for introduction into crop rotation and the further amount of yield.

Based on the obtained coefficient of structure, it was concluded that the soils on the sample plot of the KS in the layers of 0.00... 0.10 and 0.00... 0.20 m of soil are more agronomically valuable and, as a result, more suitable for crop cultivation than soils in the same layers at the CL site. This is explained by the predominance of aggregates larger than 10 mm and less than 0.25 mm in size on all layers of the CL site, which also affects the indicator of agronomically valuable aggregates. The share of agronomically valuable aggregates in the 0.00... 0.10 m in the CL section is an average value of 43.93%, and in the CS section – 53.01%. A similar pattern is also observed in the 0.10... 0.20 m: for CL the value of this indicator is 45.71%, and for CS – 47.78%.

Библиографический список

1. Романов В. Н., Шевырнов А. П., Ивченко В. К. и др. Влияние минимальной обработки на структурное состояние почвы. Вестник КрасГАУ. 2022. № 5 (182). С. 58-65.
2. Потапов Д. И., Горепекин И. В., Федотов Г. Н. и др. Выбор условий для изучения влияния внутриагрегатных связей на водопрочность почвенных агрегатов. Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 4. С. 52-58.
3. Казимова Ф. Т. Метод повышения точности определения структурного состава почвы методами дистанционного зондирования. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2021. № 1 (21). С. 21-27.
4. Каршибоев Х. Ш., Бобомуродов Ш. М., Баходиров З. А. Механический состав орошаемых болотно-луговых и луговых почв Бухарского оазиса. Научное обозрение. Биологические науки. 2024. № 1. С. 36-40.
5. Карпачевский Л. О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. С. 58-106.
6. Каюгина С. М. Сравнительная характеристика подтипов серых лесных почв Северного Зауралья по гранулометрическому составу. Мир Инноваций. 2021. № 4. С. 3-6.
7. Клименко В. И., Некрашевич В. Ф., Клименко М. В. О важных аспектах современной культуры земледелия. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2014. № 1(21). С. 91-94.
8. Коржавин В. Е., Кабанов С. В. Взаимосвязь пространственного распределения лесной растительности юга Приволжской возвышенности с экспозицией склонов и гранулометрическим составом почв. Успехи современного естествознания. 2022. № 3. С. 7-15.
9. Мамедова У. Ф. Исследование риска ветровой эрозии дистанционным зондированием на каштановых почвах. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14. № 2. С. 65-71.
10. Монгуш Л. Т. Структурно-агрегатный состав почвы под многолетними травами в темно-каштановой почве в условиях Республики Тыва. Вестник КрасГАУ. 2021. № 12 (177). С. 93-96.
11. Тагивердиев С. С., Безуглова О. С., Горбов С. Н. и др. Особенности агрегатного состава в связи с соотношением углерода органического вещества и карбонатов в почвах Ростовской агломерации. Почвоведение. 2021. Т. 55. № 9. С. 1143-1149.
12. Салихов Т. К., Елюбаев С. З., Бижон И. В. Почвенные агрегаты, пути их формирования и влияние воздействия антропогенных факторов на структуру почвенного покрова. Биосферное хозяйство: теория и практика. 2023. № 1 (54). С. 49-54.
13. Теория и методы физики почв: коллективная монография. М.: «Гриф и К», 2007. 97 с.
14. Турин Е. Н., Женченко К. Г. Совершенствование обработки почвы в Крыму. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2018. № 4 (40). С. 52-60.
15. Холодов В. А., Ярославцева Н. В., Фарходов Ю. Р. и др. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования. Почвоведение. 2019. № 2. С. 184-193.
16. Шеин Е. В., Верховцева Н. В., Быкова Г. С., Пашкевич Е. Б. Агрегатообразование в каолиновой суспензии при микробиологической модификации поверхности глины. Почвоведение. 2020. № 3. С. 351-357.
17. Яковлева Е. В., Степанова Л. П., Писарева А. В. Генетико-химическая и агроэкономическая характеристика пахотных темно-серых лесных почв. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2016. № 2 (30). С. 63-68.

References

1. Romanov V. N., Shevyrnogov A. P., Ivchenko V. K., et al. Effect of Minimum Tillage on the Structural State of Soil. Bulletin of the KrasGAU. 2022. № 5 (182). Pp. 58-65.
2. Potapov D. I., Gorepekin I. V., Fedotov G. N., et al. Selection of conditions for studying the effect of intra-aggregate bonds on the water strength of soil aggregates. Forest Messenger. 2021. V. 25. № 4. Pp. 52-58.
3. Kazimova F. T. Method of increasing the accuracy of determining the structural composition of the soil by remote sensing methods. Bulletin of the Northeastern Federal University named after M. K. Ammosov. Series: Earth Sciences. 2021. № 1 (21). Pp. 21-27.
4. Karshiboev H. Sh., Bobomurodov Sh. M., Bakhodirov Z. A. Mechanical composition of irrigated swamp-meadow and meadow soils of the Bukhara oasis. Scientific review. Biological sciences. 2024. No 1. Pp. 36-40.
5. Karpachevsky L. O. Ecological soil science. M.: GEOS, 2005. Pp. 58-106.
6. Kayugina S. M. Comparative characteristics of subtypes of gray forest soils of the Northern Trans-Urals by granulometric composition. The World of Innovation. 2021. No 4. Pp. 3-6.
7. Klimenko V. I., Nekrasevich V. F., Klimenko M. V. On important aspects of modern agricultural culture. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2014. № 1 (21). Pp. 91-94.

8. Korzhavin V. E., Kabanov S. V. The relationship of the spatial distribution of forest vegetation in the south of the Volga upland with the exposure of slopes and the granulometric composition of soils. *Successes of modern natural science*. 2022. No 3. Pp. 7-15.
9. Mammadova U. F. Investigation of the risk of wind erosion by remote sensing on chestnut soils. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2022. V. 14. No 2. Pp. 65-71.
10. Mongush L. T. Structural and aggregate composition of the soil under perennial grasses in dark chestnut soil in the conditions of the Republic of Tyva. *Bulletin of KrasGAU*. 2021. № 12 (177). Pp. 93-96.
11. Tagilverdiev S. S., Bezuglova O. S., Gorbov S. N., et al. Features of the aggregate composition in connection with the ratio of carbon of organic matter and carbonates in the soils of the Rostov agglomeration. *Soil science*. 2021. T. 55. № 9. Pp. 1143-1149.
12. Salikhov T. K., Elyubaev S. Z., Bizhon I. V. Soil aggregates, ways of their formation and the influence of anthropogenic factors on the structure of soil cover. *Biosphere economy: theory and practice*. 2023. № 1 (54). Pp. 49-54.
13. Theory and methods of soil physics: collective monograph. M.: "Vulture and K", 2007. 97 p.
14. Turin E. N., Zhenchenko K. G. Improvement of soil cultivation in Crimea. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2018. № 4 (40). Pp. 52-60.
15. Kholodov V. A., Yaroslavlseva N. V., Farkhodov Yu. R., et al. Changes in the ratio of aggregate fractions in humus horizons of chernozems in various land use conditions. *Soil science*. 2019. No 2. Pp. 184-193.
16. Shein E. V., Verkhovtseva N. V., Bykova G. S., Pashkevich E. B. Aggregation in kaolinite suspension during microbiological modification of the clay surface. *Soil Science*. 2020. No 3. Pp. 351-357.
17. Yakovleva E. V., Stepanova L. P., Pisareva A. V. Genetic, chemical and agroecological characteristics of arable dark gray forest soils. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2016. № 2 (30). Pp. 63-68.

Информация об авторах

Федотова Анна Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект. Университетский, д. 97).

Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории прогнозирования биопродуктивности агролесоландшафтов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект. Университетский, д. 97).

Зотов Евгений Сергеевич, лаборант-исследователь лаборатории прогнозирования биопродуктивности агролесоландшафтов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект. Университетский, д. 97).

Author's Information

Fedotova Anna Vladislavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences), (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97).

Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher at the Laboratory for Forecasting the Bioproductivity of Agroforestry Landscapes, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences), (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97).

Zotov Evgeny Sergeevich, Laboratory assistant Researcher at the Laboratory for Forecasting the bioproductivity of Agroforestry landscapes, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences), (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97).

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-06

CORRELATION-REGRESSION ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ALFALFA YIELD AND THE LEVEL OF MINERAL NUTRITION UNDER IRRIGATION CONDITIONS

¹Aitpayeva A. A., ²Tyutyuma N. V., ²Bulahtina G. K.

¹Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

²Solenoe Zaimitche, Astrakhan Region, Russian Federation
Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering
Astrakhan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: arman.bisaliyev2012@yandex.ru

Received 27.04.2024

Submitted 30.05.2024

Abstract

Introduction. The relevance of the research is determined by the need to expand the areas of irrigated field forage production in the arid zone in combination with an increase in the yield of forage crops. The main reserve for increasing yield is directly related to the level of mineral nutrition of plants. Correlation and regression analysis allows us to assess the dependence of yield on the amount of fertilizer applied. The article presents this analysis

using the example of the dependence of the yield of alfalfa cultivated under irrigation on the dose of mineral fertilizers. The results obtained show the existing relationship between the characteristics. **Object.** The object of the study is alfalfa cultivated under irrigation conditions and its responsiveness to mineral fertilizers. **Materials and methods.** The study used methods of systemic and complex analysis, as well as methods of correlation and regression analysis. **Results and conclusions.** The research results showed that with an increase in the dose of mineral fertilizers, an increase in the yield of alfalfa cultivated under irrigation conditions is observed, but only up to a certain point, after which a decline in yield is recorded. This trend is observed in all studied irrigation regimes. The correlation coefficient calculated using the Pearson method indicates a strong (0,87 – irrigation regime for alfalfa 65-70% NV and 0,81 – 70-75% NV) and very strong correlation dependence (0,92 – irrigation regime 75-80% NV) between the level of mineral nutrition and the yield of the crop under study.

Keywords: irrigated crop rotations, mineral nutrition of alfalfa, field fodder production.

Citation. Aitpaeva A. A., Tyutyuma N. V., Bulahtina G. K. Correlation-regression analysis of the relationship between alfalfa yield and the level of mineral nutrition under irrigation conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 52-62 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-06.

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.

Acknowledgments We express our gratitude to Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences Ivan Panteleevich Kruzhillin for valuable comments during the research and preparation of the article.

УДК 636.086.416(083)

КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ СВЯЗИ УРОЖАЙНОСТИ ЛЮЦЕРНЫ С УРОВНЕМ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

¹Айтпаева А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

²Тютюма Н. В., доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН

²Булахтина Г. К., кандидат сельскохозяйственных наук

¹ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН»
с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация

²ГБОУ АО ВО Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
Астраханская область, Российская Федерация

Актуальность исследований определяется необходимостью расширения площадей орошаемого полевого кормопроизводства в аридной зоне в сочетании с ростом урожайности кормовых культур. Основной резерв увеличения урожая напрямую связан с уровнем минерального питания растений. Оценить зависимость урожайности от количества внесенных удобрений позволяет корреляционно-регрессионный анализ. В статье представлен данный анализ на примере зависимости урожайности люцерны, возделываемой на орошении, от дозы внесения минеральных удобрений. Полученные результаты показывают существующую связь между признаками. **Объект.** Объектом исследования является люцерна, возделываемая в условиях орошения, и ее отзывчивость на минеральные удобрения. **Материалы и методы.** В исследовании использовались методы системного и комплексного анализа, а также методы корреляционно-регрессионного анализа. **Результаты исследований** показали, что при увеличении дозы внесения минеральных удобрений наблюдается рост урожайности люцерны, возделываемой в условиях орошения, но только до определенного момента, после которого фиксируется ее спад. Данная тенденция наблюдается на всех изучаемых режимах орошения. Коэффициент корреляции, вычисляемый по методу Пирсона, свидетельствует о сильной (0,87 – режим орошения люцерны 65-70% НВ и 0,81 – режим орошения 70-75% НВ) и очень сильной корреляционной зависимости (0,92 – режим орошения 75-80% НВ) между уровнем минерального питания и урожаем изучаемой культуры.

Ключевые слова: орошаемые севообороты, минеральное питание люцерны, полевое кормопроизводство.

Цитирование. Айтпаева А. А., Тютюма Н. В., Булахтина Г. К. Корреляционно-регрессионный анализ связи урожайности люцерны с уровнем минерального питания в условиях орошения. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 52-62 DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-06.

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.

Благодарности. Выражаем благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору, академику РАН Кружилину Ивану Пантелеевичу за ценные замечания в рамках проведения исследований и подготовки статьи.

Введение. Проведение мелиоративных мероприятий, в первую очередь орошения, эффективный прием, обеспечивающий получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в аридной зоне [1-4].

Условия Юга России отличаются недостаточным количеством осадков в период весенне-летней вегетации сельскохозяйственных культур. В некоторых регионах ЮФО, например, в Астраханской области засушливость климата сочетается с низким уровнем плодородия почв [5]. В области преобладают бурые, светло-каштановые почвы и пески. Отсутствие черноземных почв на фоне летней засухи негативно отражается на почвенном плодородии и урожайности большинства сельскохозяйственных культур [6, 7].

В связи с этим в аридных условиях Астраханской области основным лимитирующим продуктивностью растений фактором является влага, а затем содержание питательных веществ в почве. Оптимальное сочетание этих двух факторов гарантирует получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в любой по погодным условиям год.

Многочисленными исследованиями и производственной практикой установлено положительное влияние орошения и минеральных удобрений на продуктивность люцерны и других культур севооборота [8-12]. С учетом этих рекомендаций мы разработали режимы орошения и схемы минерального питания люцерны в рамках реализации орошаемого кормового севооборота в Харабалинском районе Астраханской области.

Материалы и методы исследований. Проведение полевых опытов, анализ визуальных наблюдений и обработка в период вегетации проходили с соблюдением требований методики опытного дела. Закладка опытов и сопутствующие наблюдения были выполнены по общеизвестной методике Б. А. Доспехова [13]. Исследование отличает системный подход, направленный на комплексное изучение поставленных задач.

Изучение влияния орошения и минеральных удобрений на урожайность люцерны выполнялось в условиях Харабалинского района Астраханской области. Опыты закладывались с 2018 по 2020 гг. Повторность опыта трехкратная, варианты в опыте размещены методом рендомизированных повторений, учетная площадь одной делянки 50 м². В качестве удобрений применяли двойной суперфосфат, нитроаммофоску и хлористый калий (таблица 1). Учет урожая проводили путем скашивания и взвешивания фитомассы со всей площади учетной делянки.

В двухфакторных опытах в период 2018-2020 гг. изучали различные режимы орошения и дозы минеральных удобрений на посевах сорта люцерны Талисман, который по результатам предыдущих испытаний зарекомендовал себя как более урожайный по сравнению со стандартом Ленинская местная. Расчет удобрений производили с учетом выноса питательных веществ запланированным урожаем изучаемой культуры. Статистическую обработку проводили методом дисперсионного анализа [11]. За период вегетации выполнялось четыре укоса люцерны. Под первый и последний укосы давали по 2 полива, под все остальные по 3 полива. Дождение осуществлялось при помощи дождевальной машины Фрегат. Основное удобрение (таблица 1) вносилось раз в три года при посеве люцерны, подкормки ежегодно под каждый укос.

Результаты исследований. Основная культура кормового севооборота – люцерна – максимальный уровень урожайности формировала во второй и третий годы использования, что объясняется высокой скоростью отрастания после укосов, формированием значительной вегетативной массы.

При всех изучаемых режимах орошения применение удобрений вело к увеличению урожайности и повышению коэффициента эффективности орошения.

Исследованиями Г. А. Медведева установлено, что люцерну на прежнее место в засушливых условиях Юга России следует возвращать не ранее чем через 3 года [14]. Иначе наблюдается изреживание посевов изучаемой культуры. Однако Астраханская область является исключением из правил и люцерну здесь можно возвращать на прежнее место уже через 2 года. Это обусловлено тем, что в аридной зоне в последние годы наблюдаются постоянно усиливающиеся процессы опустынивания. Возникновение все новых массивов песков вследствие необоснованного роста поголовья овец и возросшей нагрузки на пастбища выдвигает новые требования к землепользованию, в том числе полевому кормопроизводству. Насыщение севооборотов многолетними бобовыми травами, в частности люцерной, будет способствовать предотвращению опустынивания земель, закреплению песков, улучшению почвообразовательных процессов.

Таблица 1 – Урожайность люцерны в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания
Table 1 – Alfalfa yield depending on irrigation regime and level of mineral nutritio

№, п/п	Фактор А (орошение) / Factor A (irrigation)	Фактор Б (удобрения) / Factor B (fertilizers)		Урожайность, т/га / Yield, t/ha
		Основное удобрение / Basic fertilizer	Подкормки / Feeding	
1	65-70% НВ	Без удобрения / No Fertilizer		10
		P60K30	N10P40K30	13
		P80K50	N20P50K40	17
		P100K70	N30P60K50	15
2	70-75% НВ	Без удобрения / No Fertilizer		14
		P60K30	N10P40K30	16
		P80K50	N20P50K40	22
		P100K70	N30P60K50	19
3	75-80%НВ	Без удобрения / No Fertilizer		18
		P60K30	N10P40K30	23
		P80K50	N20P50K40	28
		P100K70	N30P60K50	26

Исследования показали, что общий расход воды с единицы площади увеличивался по мере повышения уровня предполивной влажности почвы (таблица 2).

Таблица 2 – Режим орошения люцерны
Table 2 – Irrigation regime for alfalfa

№, п/п	Фактор А (орошение) / Factor A (irrigation)	Фактор Б (удобрения) / Factor B (fertilizers)		Поливная норма, м³/га / Irrigation rate, m³/ha	Оросительная норма, м³/га / Irrigation rate, m³/ha
		Основное удобрение / Basic fertilizer	Подкормки / Feeding		
1	65-70% НВ	Без удобрения / No Fertilizer		500	6000
		P60K30	N10P40K30	500	6000
		P80K50	N20P50K40	500	6000
		P100K70	N30P60K50	500	6000
2	70-75% НВ	Без удобрения / No Fertilizer		550	6700
		P60K30	N10P40K30	550	6700
		P80K50	N20P50K40	550	6700
		P100K70	N30P60K50	550	6700
3	75-80%НВ	Без удобрения / No Fertilizer		600	7500
		P60K30	N10P40K30	600	7500
		P80K50	N20P50K40	600	7500
		P100K70	N30P60K50	600	7500

В то же время следует отметить, что возделывание люцерны в Астраханской области происходит преимущественно на орошении, вследствие чего корневые остатки довольно быстро разрушаются в почве, что дает возможность возвращать изучаемую культуру на прежнее место уже через 2 года и не допускать изреживания посевов.

Корреляционная зависимость между урожайностью люцерны, возделываемой на орошении, и дозой внесения минеральных удобрений может быть выражена при помощи уравнения линейной регрессии. Для его построения воспользуемся данными, представленными в таблице 3.

Режим орошения 65-70% НВ.

Таблица 3 – Исходные данные для построения уравнения линейной регрессии
Table 3 – Initial data for constructing a linear regression equation

X1 (доза минеральных удобрений, т/га в физическом весе / (dose of mineral fertilizers, t/ha in physical weight)	Y1 (урожайность люцерны, т/га) / (alfalfa yield, t/ha)	X1Y1	X1²	Y1²
0	10	0	0	100
0,79	13	10,27	0,62	169
1,0945	17	18,6	1,20	289
1,399	15	20,9	1,96	225
Σ3,28	Σ55	Σ 49,8	Σ 3,78	Σ783

Коэффициенты функции $y = ax + b$ находим из решения системы уравнений:

$$\begin{cases} a\sum x_1^2 + b\sum x_1 = \sum x_1 y_1 \\ a\sum x_1 + bn = \sum y_1 \end{cases} = \begin{cases} 3,78a + 3,28b = 49,8 \\ 3,28a + 4b = 55 \end{cases}$$

$\Delta = \begin{pmatrix} 3,78 & 3,28 \\ 3,28 & 4 \end{pmatrix} = 3,78 \times 4 - 3,28 \times 3,28 = 15,12 - 10,76 = 4,36 \neq 0$, значит система имеет единственное решение

$$\Delta a = \begin{pmatrix} 49,8 & 3,28 \\ 55 & 4 \end{pmatrix} = 49,8 \times 4 - 55 \times 3,28 = 199,2 - 180,4 = 18,8$$

$$a = \Delta a / \Delta = 18,8 / 4,36 = 4,3$$

$$\Delta b = \begin{pmatrix} 3,78 & 49,8 \\ 3,28 & 55 \end{pmatrix} = 3,78 \times 55 - 3,28 \times 49,8 = 207,9 - 163,3 = 44,6$$

$$b = \Delta b / \Delta = 44,6 / 4,36 = 10,2$$

Таким образом, уравнение регрессии имеет вид $y = 4,3x + 10,2$.

По результатам анализа выполняем построение диаграммы рассеяния (рисунок 1), представляющей собой графическую интерпретацию, изображающую значение двух переменных в декартовой плоскости.

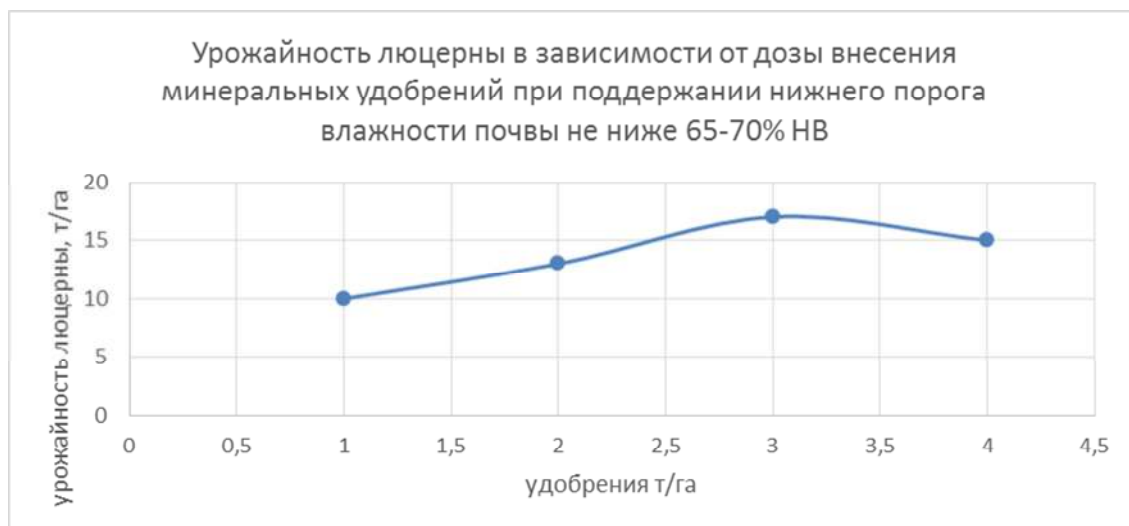


Рисунок 1 – Урожайность люцерны в зависимости от минерального питания (вариант орошения 65-70% НВ)

Figure 1 – Alfalfa yield depending on mineral nutrition (irrigation option 65-70% NV)

Анализ рисунка 1 показал, что урожайность люцерны при увеличении дозы вносимых минеральных удобрений возрастает только до определенного момента, после которого не наблюдается прибавки урожайности. В наших исследованиях рост урожая зафиксирован на вариантах опыта 2 и 3 (дозы внесения минеральных удобрений в физическом весе соответственно 0,79 и 1,0945 т/га, урожайность люцерны 13 и 17 т/га соответственно). При дальнейшем возрастании количества применяемых удобрений до 1,399 т/га наблюдалось снижение урожая изучаемой культуры на 2 т/га. Данные исследований свидетельствуют о том, что повышение уровня минерального питания не обеспечивает бесконечный рост урожая сельскохозяйственных растений. Максимальная отзывчивость на удобрения может быть обусловлена генетическими особенностями сортов и их фенотипическими проявлениями в конкретных условиях среды обитания.

Для выявления корреляционной зависимости между уровнем минерального питания и урожайностью люцерны, возделываемой на орошении при поддержании нижнего порога влажности почвы не ниже 65-70% НВ определяем коэффициент корреляции по Пирсону:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\bar{X} = 3,28 / 4 = 0,82$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$\bar{Y} = 55/4 = 13,8$$

$$SS_{xx} = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n X_i)^2$$

$$SS_{xx} = 3,78 - (3,28 \times 3,28/4) = 1,09$$

$$SS_{yy} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Y_i)^2$$

$$SS_{yy} = 783 - (55 \times 55/4) = 27$$

$$SS_{xy} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n X_i) \times (\sum_{i=1}^n Y_i)$$

$$SS_{xy} = 49,8 - (3,28 \times 55/4) = 4,7$$

Коэффициент корреляции Пирсона

$$r = \frac{SS_{xy}}{\sqrt{SS_{xx}SS_{yy}}}$$

$$r = 4,7 / \sqrt{1,09 \times 27} = 0,87$$

Значение коэффициента корреляции в интервале 0,7-0,9 указывает на сильную положительную линейную связь между уровнем минерального питания и урожайностью люцерны, возделываемой на орошении при поддержании нижнего порога влажности почвы не ниже 65-70% НВ.

Режим орошения 70-75% НВ

Таблица 4 – Исходные данные для построения уравнения линейной регрессии

Table 4 – Input data for constructing a linear regression equation

X1 доза минеральных удобрений, т/га в физическом весе / dose of mineral fertilizers, t/ha in physical weight	Y1 (урожайность люцерны, т/га) / (alfalfa yield, t/ha)	X1Y1	X1 ²	Y1 ²
0	14	0	0	196
0,79	16	12,64	0,62	256
1,0945	22	24,1	1,20	484
1,399	19	26,6	1,96	361
$\Sigma 3,28$	$\Sigma 71$	$\Sigma 63,3$	$\Sigma 3,78$	$\Sigma 1297$

Коэффициенты функции $y = ax + b$ находим из решения системы уравнений:

$$\begin{cases} 3,78a + 3,28b = 63,3 \\ 3,28a + 4b = 71 \end{cases}$$

$\Delta = \begin{pmatrix} 3,783,28 \\ 3,284 \end{pmatrix} = 3,78 \times 4 - 3,28 \times 3,28 = 15,12 - 10,76 = 4,36 \neq 0$, значит система имеет единственное решение

$$\Delta a = \begin{pmatrix} 63,33,28 \\ 714 \end{pmatrix} = 63,3 \times 4 - 71 \times 3,28 = 253,2 - 232,9 = 20,3$$

$$a = \Delta a / \Delta = 20,3 / 4,36 = 4,7$$

$$\Delta b = \begin{pmatrix} 3,7863,3 \\ 3,2871 \end{pmatrix} = 3,78 \times 71 - 3,28 \times 63,3 = 268,4 - 207,6 = 60,8$$

$$b = \Delta b / \Delta = 60,8 / 4,36 = 13,9$$

Таким образом, уравнение регрессии имеет вид $y = 4,7x + 13,9$.

Следующим этапом выступает построение диаграммы рассеяния (рисунок 2).

Анализ рисунка 2 показал, что урожайность люцерны при увеличении дозы внесимых минеральных удобрений возрастает до значения в 22 т/га, после которого фиксируется ее спад. В наших исследованиях рост урожая зафиксирован на вариантах опыта 2 и 3 (дозы внесения минеральных удобрений в физическом весе соответственно 0,79 и 1,0945 т/га, урожайность люцерны 16 и 22 т/га соответственно). При дальнейшем возрастании количества применяемых удобрений до 1,399 т/га наблюдалось снижение урожая изучаемой культуры на 3 т/га. По результатам исследований можно сделать вывод о том, что повышение уровня минерального питания обеспечивает рост урожая люцерны только до определенного момента, после наступления которого фиксируется снижение урожайности.



Рисунок 2 – Урожайность люцерны в зависимости от минерального питания (вариант орошения 70-75% НВ)

Figure 2 – Alfalfa yield depending on mineral nutrition (irrigation option 70-75% NV)

Для выявления корреляционной зависимости между уровнем минерального питания и урожайностью люцерны, возделываемой на орошении при поддержании нижнего порога влажности почвы не ниже 70-75% НВ определяем коэффициент корреляции по Пирсону:

$$\bar{X} = 3,28/4 = 0,82$$

$$\bar{Y} = 71/4 = 17,75$$

$$SS_{xx} = 3,78 - (3,28 \times 3,28/4) = 1,09$$

$$SS_{yy} = 1297 - (71 \times 71/4) = 36,75$$

$$SS_{xy} = 63,3 - (3,28 \times 71/4) = 5,1$$

Коэффициент корреляции Пирсона

$$r = 5,1 / \sqrt{1,09 \times 36,75} = 0,81$$

Значение коэффициента корреляции в интервале 0,7-0,9 указывает на сильную положительную линейную связь между уровнем минерального питания и урожайностью люцерны, возделываемой на орошении при поддержании нижнего порога влажности почвы не ниже 70-75% НВ.

Режим орошения 75-80% НВ

Таблица 5 – Исходные данные для построения уравнения линейной регрессии

Table 5 – Initial data for constructing a linear regression equation

X1 доза минеральных удобрений, т/га в физическом весе / Mineral fertilizer dose, t/ha in physical weight	Y1 (урожайность люцерны, т/га) / (alfalfa yield, t/ha)	X1Y1	X1 ²	Y1 ²
0	18	0	0	324
0,79	23	18,17	0,62	529
1,0945	28	30,6	1,20	784
1,399	26	36,4	1,96	676
$\Sigma 3,28$	$\Sigma 95$	$\Sigma 85,2$	$\Sigma 3,78$	$\Sigma 2313$

Коэффициенты функции $y = ax + b$ находим из решения системы уравнений:

$$\begin{cases} 3,78a + 3,28b = 85,2 \\ 3,28a + 4b = 95 \end{cases}$$

$\Delta = \begin{pmatrix} 3,78 & 3,28 \\ 3,28 & 4 \end{pmatrix} = 3,78 \times 4 - 3,28 \times 3,28 = 15,12 - 10,76 = 4,36 \neq 0$, значит система имеет единственное решение

$$\Delta a = \begin{pmatrix} 85,2 & 3,28 \\ 95 & 4 \end{pmatrix} = 85,2 \times 4 - 95 \times 3,28 = 340,8 - 311,6 = 29,2$$

$$a = \Delta a / \Delta = 29,2 / 4,36 = 6,7$$

$$\Delta b = \left(\frac{3,7885,2}{3,2895} \right) = 3,78 \times 95 - 3,28 \times 85,2 = 359,1 - 279,5 = 79,6$$

$$b = \Delta b / \Delta = 79,6 / 4,36 = 18,3$$

Таким образом, уравнение регрессии имеет вид $y = 6,7x + 18,3$.



Рисунок 3 – Урожайность люцерны в зависимости от минерального питания (вариант орошения 75-80% НВ)

Figure 3 – Alfalfa yield depending on mineral nutrition (irrigation option 75-80% NV)

На основе данных табл.5 выполняем построение диаграммы рассеяния (рис.3), результаты которой подтверждают рост эффективности от применения минеральных удобрений только до определенного момента (доза удобрений 1,0945 т/га в физическом весе, урожайность 28 т/га), после которого, несмотря на увеличение уровня минерального питания наблюдается снижение урожайности люцерны. Для выявления корреляционной зависимости между дозой внесения минеральных удобрений и урожайностью люцерны, возделываемой на орошении при поддержании нижнего порога влажности почвы не ниже 75-80% НВ определяем коэффициент корреляции по Пирсону:

$$\bar{X} = 3,28 / 4 = 0,82$$

$$\bar{Y} = 95 / 4 = 23,75$$

$$SS_{xx} = 3,78 - (3,28 \times 3,28 / 4) = 1,09$$

$$SS_{yy} = 2313 - (95 \times 95 / 4) = 57$$

$$SS_{xy} = 85,2 - (3,28 \times 95 / 4) = 7,3$$

Коэффициент корреляции Пирсона

$$r = 7,3 / \sqrt{1,09 \times 57} = 0,92$$

Значение коэффициента корреляции в интервале 0,9-1 указывает на очень сильную положительную линейную связь между уровнем минерального питания и урожайностью люцерны, возделываемой на орошении при поддержании нижнего порога влажности почвы на уровне 75-80% НВ.

Данные полевых опытов по изучению совместного влияния орошения и удобрений на урожайность люцерны были подтверждены результатами дисперсионных анализов по годам исследований (таблица 6).

Анализ данных таблицы 6 показал, что колебания урожайности изучаемой культуры по годам исследований не были ярко выраженными, что связано с возделыванием люцерны в условиях орошения.

Максимальные уровни урожайности во все годы исследования и на всех режимах орошения были зафиксированы при внесении Р80К50 в основное удобрение и N20Р50К40 в подкормки.

Таблица 6 – Урожайность люцерны в зависимости от режима орошения и дозы минеральных удобрений, Харабалинский район

Table 6 – Alfalfa yield depending on irrigation regime and dose of mineral fertilizers, Kharabalinsky district

Вариант / Variant	Основное удобрение, кг. д. в. на га / Basic fertilizer, kg a.i. per ha	Подкормки, кг д. в. на га / Fertilizing, kg a.i. per ha	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средняя / Average
65-70% НВ	Без удобрений / No Fertilizer		10,3	11,0	9,8	10
	P60K30	N10P40K30	13,0	14,0	12,8	13
	P80K50	N20P50K40	17,0	17,0	16	17
	P100K70	N30P60K50	15,0	16,0	14,4	15
70-75% НВ	Без удобрений / No Fertilizer		14,0	15,0	13,6	14
	P60K30	N10P40K30	16,0	17,4	15,2	16
	P80K50	N20P50K40	22,0	22,0	21,0	22
	P100K70	N30P60K50	19,0	20,0	18,0	19
75-80% НВ	Без удобрений / No Fertilizer		18,0	18,0	17,0	18
	P60K30	N10P40K30	23,0	24,0	22,0	23
	P80K50	N20P50K40	28,0	28,0	27,0	28
	P100K70	N30P60K50	26,0	27,0	25,0	26
НСП(05) А			0,66	0,65	0,47	
НСП(05) В			0,90	0,89	0,68	
НСП(05) АВ			0,90	0,89	0,68	

Выводы. Результаты трехлетних испытаний с 2018 по 2020 гг в Харабалинском районе Астраханской области показали, что при увеличении дозы внесения минеральных удобрений наблюдается рост урожайности люцерны, возделываемой в условиях орошения, но только до определенного момента, после которого фиксируется спад урожая. Данная тенденция наблюдается на всех изучаемых режимах орошения. Коэффициент корреляции по Пирсону свидетельствует о сильной ($r = 0,87 - 0,81$; режимы орошения люцерны 65-70% НВ и 70-75% НВ) и очень сильной корреляционной зависимости ($r = 0,92$ режим орошения 75-80% НВ) между уровнем минерального питания и урожаем изучаемой культуры.

Conclusions. The results of three-year tests from 2018 to 2020 in the Kharabalinsky district of the Astrakhan region showed that with an increase in the dose of mineral fertilizers, there is an increase in the yield of alfalfa cultivated under irrigation conditions, but only up to a certain point, after which a decline in the yield is recorded. This trend is observed in all studied irrigation regimes. The Pearson correlation coefficient indicates a strong ($r = 0.87 - 0.81$; alfalfa irrigation regimes 65-70% NV and 70-75% NV) and very strong correlation dependence ($r = 0.92$ irrigation regime 75-80% NV) between the level of mineral nutrition and the yield of the crop under study.

Библиографический список

1. Тютюма Н. В., Айтпаева А. А., Беспалова О. Н. Устойчивое развитие кормопроизводства как основа наращивания животноводческой продукции в регионе. АгроЭкоИнфо. 2022. № 4 (52).
2. Мисюржев В. Ю., Гузенко Е. Ю., Джафаров В. В. Приёмы основной обработки почвы при возделывании люцерны. Аграрная Россия. 2022. № 7. С. 14-17.
3. Монгуш Л. Т. Продуктивность и изменение ботанического состава многолетних бобово-злаковых травосмесей. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2018. № 3 (39). С. 53-57.
4. Прокина Л. Н., Медведева Е. В. Продуктивность и качество урожая многолетних трав в зависимости от минеральных удобрений и препарата жусс-2 на фоне известкования. Аграрная Россия. 2013. № 5. С. 12-14.
5. Ионова Л. П. Современное состояние и тенденции развития отрасли растениеводства в АПК Астраханской области: монография. 2023. 418 с.
6. Кожокина А. Н., Мязин Н. Г. Влияние удобрений и мелиоранта на кальциевый режим чернозема выщелоченного. Инновационные технологии и технические средства в АПК. Воронеж, 2016. С. 46-51.
7. Кириллова Е. В., Копылов А. Н. Влияние различных систем удобрения на изменение агрохимических свойств почвы. Аграрный вестник Урала. 2017. № 158 (4). С. 31-36.
8. Timofeeva G. V., Akmaeva R. I., Aitpaeva A. A. Strategic directions of development of dairy cattle breeding in the region in the conditions of modern challenges. Competitive, sustainable and safe development of the regional economy: response to global challenges: International scientific conference. Volgograd, 2019. V. 39. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/cssdre-19/125909685>
9. Дегунова Н. Б., Данилова Ю. Б. Влияние инокуляции активными штаммами клубеньковых бактерий на урожайность различных сортов люцерны изменчивой. Аграрная Россия. 2014. № 5. С. 9-11.

10. Савина О. В., Макаров В. А., Макарова О. В., Гаспарян С. В. 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.

11. Костин Я. В., Ушаков Р. Н., Левин В. И., Фадкин Г. Н., Кобелева А. В., Черкасова С. В. Приоритетные направления использования местных сыромолотых фосфоритов для сохранения и повышения плодородия почв. вестник рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2017. № 4 (36). С. 45-48.

12. Кирейчева Л. В., Неведов А. В., Евсенкин К. Н., Ильинский А. В., Виноградов Д. В., Иванникова Н. А. Обоснование использования удобрительно-мелиорирующей смеси на основе торфа и сапропеля для повышения плодородия деградированных почв. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2016. № 3 (31). С. 12-17.

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

14. Медведев Г. А., Димитриенко С. А. Продуктивность люцерны при различных сроках возврата на прежнее место в севооборот на орошаемых землях Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2011. № 3 (23). С. 7.

References

1. Tyutyuma N. V., Aitpaeva A. A., Bepalova O. N. Sustainable development of feed production as a basis for increasing livestock production in the region. AgroEcolInfo. 2022. № 4 (52).

2. Misyuryaev V. Yu., Guzenko E. Yu., Jafarov V. V. Basic tillage techniques for alfalfa cultivation. Agrarian Russia. 2022. No. 7. Pp. 14-17.

3. Mongush L. T. Productivity and changes in the botanical composition of perennial legume-cereal grass mixtures. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2018. No. 3 (39). Pp. 53-57.

4. Prokina L. N., Medvedeva E. V. Productivity and quality of the harvest of perennial grasses depending on mineral fertilizers and the preparation zhuss-2 on the background of liming. Agrarian Russia. 2013. No. 5. Pp. 12-14.

5. Ionova L. P. The current state and trends in the development of the crop industry in the agroindustrial complex of the Astrakhan region: monograph. 2023. 418 p.

6. Kozhokina A. N., Myazin N. G. The influence of fertilizers and meliorant on the calcium regime of leached chernozem. Innovative technologies and technical means in agriculture: materials of the International scientific and practical conference. Voronezh, 2016. Pp. 46-51.

7. Kirillova E. V., Kopylov A. N. The influence of various fertilizer systems on the change of agrochemical properties of the soil. Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. № 158 (4). Pp. 31-36.

8. Timofeeva G. V., Akmaeva R. I., Aitpaeva A. A. Strategic directions of development of dairy cattle breeding in the region in the conditions of modern challenges. Competitive, sustainable and safe development of the regional economy: response to global challenges: International scientific conference. Volgograd, 2019. V. 39. <https://www.atlantis-pess.com/proceedings/cssdre-19/125909685>

9. Degunova N. B., Danilova Yu. B. The effect of inoculation with active strains of nodule bacteria on the yield of various varieties of alfalfa. Agrarian Russia. 2014. No. 5. Pp. 9-11.

10. Savina O. V., Makarov V. A., Makarova O. V., Gasparian S. V. 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. No. 4 (44). Pp. 53-59.

11. Kostin Ya. V., Ushakov R. N., Levin V. I., Fadkin G. N., Kobleva A. V., Cherkasova S. V. Priority directions of using local raw ground phosphorites to preserve and increase soil fertility. bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2017. No. 4 (36). Pp. 45-48.

12. Kireicheva L. V., Nefedov A. V., Evsenkin K. N., Ilyinsky A. V., Vinogradov D. V., Ivannikova N. A. Justification for the use of a fertilizer-reclamation mixture based on peat and sapropel to increase the fertility of degraded soils. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2016. No. 3 (31). Pp. 12-17.

13. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.

14. Medvedev G. A., Dimitrienko S. A. The productivity of alfalfa at various periods of return to its former place in crop rotation on irrigated lands of the Lower Volga region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex. 2011. № 3 (23). P.7.

Информация об авторах

Айтпаева Айгуль Алдунгаровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент по специальности «Экономика и управление народным хозяйством», доцент кафедры «Экспертиза, эксплуатация и управление недвижимостью», начальник управления научно-исследовательской работы и международных связей Астраханского государственного архитектурно-строительного университета (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18.); научный сотрудник ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черныярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, д. 8), ORCID 0000-0003-3898-5813, e-mail: aman.bisaliyev2012@yandex.ru

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

Булахтина Галина Константиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, отдел рационального природопользования, заведующий отделом, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черныярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, д. 8), ORCID 0000-0001-8949-8666, e-mail: gbulahat@mail.ru

Author's Information

Aitpayeva Aigul Aldungarovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor in the specialty "Economics and Management of the National Economy", Associate Professor of the Department of "Expertise, Operation and Management of Real Estate", Head of the Department of Research Work and International Relations of the Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishcheva st., 18); Researcher at the Federal State Budgetary Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID 0000-0003-3898-5813, e-mail: arman.bisalieva2012@yandex.ru

Tyutyuma Natalya Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal State Budgetary Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID ID 0000-0001-6582-2628, e-mail: pniiiaz@mail.ru

Bulakhtina Galina Konstantinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Department of Environmental Management, Head of Department, Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID 0000-0001-8949-8666, e-mail: gbulaht@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-07

**NUTRITIONAL VALUE OF SUGAR AND GRAIN SORGHUM FEEDS IN SINGLE-SPECIES
AND JOINT COMPONENTS****Antimonova O. N., Syrkina L. F., Antimonov A. K.**

*P. N. Konstantinov Volga Research Institute of Breeding and Seed Production –
branch of Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
Kinel, Samara Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: antimonovaolga@list.ru

Received 21.02.2024

Submitted 22.04.2024

The research was carried out within the framework of the Program of Fundamental Scientific Research of the Russian Academy of Sciences FMRW-2022-0019 (state registration No. 122032200042-8) of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic "Scientific basis for the creation of new varieties of cereals, grain fodder and sorghum crops, with complex resistance to bio and abiostressors, with high economically valuable traits, ensuring stable yields in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region"

Summary

Silage made of a single-species component of sorghum and a combined component of sorghum + soybeans + corn. The silage of the studied samples had an aromatic fruity smell or the smell of pickled vegetables, green-olive color, and a good crumbly consistency. The dry matter content of the single-species component of sorghum is 325 g/kg of natural feed, KE 0.29, ECE 0.32. The dry matter content in the combined composition of sorghum + soybeans is 320 g/kg of natural feed, KE 0.28, ECE 0.32, which exceeds the requirements of GOST. The active acidity of the silage was within the range of pH = 4.0-4.3 % and did not exceed the requirements of GOST. The haylage of the studied samples had an aromatic fruity smell, yellow-green-brown color and a good crumbly consistency. The energy value of 1 kg of grain sorghum haylage was 0.42, sugar - 0.36 ECE. Silage and haylage from grain and sugar sorghum had good nutritional values of the feed, which will successfully complement the feed balance of winter rations.

Abstract

Introduction. The traditional crop for making silage is corn, but the sharply continental arid climate of the Middle Volga region negatively affects the high productivity of corn. As a result, a significant part of farms cannot provide stable, nutritious nutrition for cattle. One of the options for getting out of this situation is to use sugar and grain sorghum as a silage crop, which, due to its properties, in particular drought and salt resistance, can provide constant high yields of both green mass and grain even in acutely dry conditions years. Studies to assess the nutritional value of canned feed were carried out on the basis of the Volga Research Institute of Canned Food, a branch of the Samara Research Center of the Russian Academy of Sciences, and the Samara State Agrarian University. **Object.** The objects of the study for silage harvesting were the following crops: sugar sorghum of the Kinskoye 4 variety, grain sorghum – Premiera, soybean – Kinlyanka and corn hybrid – Kinbel 144 SV. **Materials and methods.** In experiment No. 1 in laboratory conditions, the chemical composition of the green mass of these crops in the phase of milk ripeness of sorghum and corn grain and waxy ripeness of soybeans (August 17) was carried out, as well as the experiment was laid down in the threefold repetition of silage (by the method of self-preservation) of the studied samples. In experiment No. 2, the chemical composition of the green mass of sugar sorghum Kinskoye 4 and grain sorghum Premiera in the phase of milky-waxy ripeness of grain was determined, and the mass was laid for haylage in the same period on September 3 in the peasant farm "Vasilina" of the Bol'she-Chernigovskogo district. **Results and conclusions.** Analysis of these studies showed that all silage options have excellent feed qualities, especially silage from the single-species component sorghum and the

combined sorghum + soybean + corn component. The silage of the studied samples had an aromatic fruity smell or the smell of pickled vegetables, green-olive color, and a good crumbly consistency. The dry matter content of the single-species component of sorghum is 325 g/kg of natural feed, KE 0.29, EKE 0.32. The dry matter content in the combined composition of sorghum + soybeans is 320 g/kg of natural feed, KE 0.28, EKE 0.32, which exceeds the requirements of GOST. The active acidity of the silage was within the range of pH = 4.0-4.3% and did not exceed the requirements of GOST. The haylage of the studied samples had an aromatic fruity smell, yellow-green-brown color and a good crumbly consistency. The energy value of 1 kg of grain sorghum haulage was 0.42, sugar – 0.36 EKE. Silage and haylage from grain and sugar sorghum had good nutritional values of the feed, which will successfully complement the feed balance of winter rations.

Keywords: grain sorghum, sugar sorghum, grain feed, silage, haylage, feed nutrition, feed energy value.

Citation. Antimonova O. N., Syrkina L. F., Antimonov A. K. Nutritional value of sugar and grain sorghum feeds in single-species and joint components. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 62-70 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-07.

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 633.17.174

ПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ КОРМОВ ИЗ САХАРНОГО И ЗЕРНОВОГО СОРГО В ОДНОВИДОВЫХ И СОВМЕСТНЫХ КОМПОНЕНТАХ

Антимонова О. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Сыркина Л. Ф., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Антимонов А. К., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства
имени П. Н. Константинова – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Самарского федерального исследовательского центра РАН
г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения Государственного задания по теме: «Научные основы создания новых сортов крупяных, зернофуражных и сорговых культур, с комплексной устойчивостью к био и абиострессорам, с высокими хозяйственно ценными признаками, обеспечивающих получение стабильных урожаев в условиях лесостепи Среднего Поволжья».
(FMRW-2022-0019) номер государственной регистрации ЕГИСУ НИОКР 1021032424537-6-4.1.6

Актуальность. Традиционной культурой для приготовления силоса является кукуруза, но резко-континентальный засушливый климат Среднего Поволжья отрицательно влияет на высокую продуктивность кукурузы. В результате этого значительная часть хозяйств не может обеспечить стабильное полноценное питание крупного рогатого скота. Одним из вариантов выхода из этой ситуации является использование в качестве силосной культуры сахарного и зернового сорго, которое, благодаря своим свойствам, в частности засухо- и солеустойчивости, способно обеспечить постоянные высокие урожаи как зеленой массы, так и зерна даже в острозасушливые годы. Исследования по оценке питательности консервированных кормов были проведены на базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН и Самарского ГАУ. **Объект.** Объектами исследования для заготовки силоса являлись следующие культуры: сорго сахарное сорта Кинельское 4, сорго зерновое – Премьера, соя – Кинелянка и гибрид кукурузы – Кинбел 144 СВ. **Материалы и методы.** В опыте № 1 в лабораторных условиях был проведен химический состав зеленой массы данных культур в фазе молочной спелости зерна сорго и кукурузы и восковой спелости сои (17 августа), а также заложен опыт в трехкратной повторности по силосованию (методом самоконсервирования) изучаемых образцов. В опыте № 2 был определен химический состав зеленой массы сахарного сорго Кинельское 4 и зернового сорго Премьера в фазе молочно-восковой спелости зерна, и проведена закладка массы на сенаж в один срок 03 сентября в КФХ «Василина» Больше-Черниговского района. **Результаты и выводы.** Анализ данных исследований показал, что все варианты силосования имеют отличные кормовые качества, особенно силос из одновидового компонента сорго и комбинированного в составе сорго + соя + кукуруза. Силос исследуемых образцов имел ароматный фруктовый запах или запах квашеных овощей, зелено-оливковый цвет, хорошую рассыпчатую консистенцию. Содержание сухого вещества одновидового компонента сорго 325 г/кг натурального корма, KE 0.29, ЭКЕ 0.32. Содержание сухого вещества в комбинированном составе сорго + соя 320 г/кг натурального корма, KE 0.28, ЭКЕ 0.32, что превышает требования ГОСТа. Активная кислотность силоса находилась в пределах pH=4,0-4,3% и не выходила за пределы требования ГОСТа. Сенаж исследуемых образцов имел ароматный фруктовый запах, желто-зелено-коричневый цвет и хорошую рассыпчатую консистенцию. Энергети-

ческая ценность 1 кг сенажа из зернового сорго составила 0,42, сахарного – 0,36 ЭКЕ. Силос и сенаж из зернового и сахарного сорго имел хорошие показатели питательности корма, которые будут удачно дополнять кормовой баланс зимних рационов.

Ключевые слова: сорго зерновое, сорго сахарное, зерновые корма, силос, сенаж, питательность кормов, энергетическая ценность кормов.

Цитирование. Антимонов О. Н., Сыркина Л. Ф., Антимонов А. К. Питательная ценность кормов из сахарного и зернового сорго в одновидовых и совместных компонентах. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 62-70. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-07.

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. Интенсивным и стабильным производством комбикормов для сельскохозяйственных животных считается заготовка силоса, который занимает от 30 до 50% рациона. Это означает, что стабильность производства такого кормового продукта практически наполовину определяет обеспечение кормов в целом. Традиционной культурой для его приготовления является кукуруза, но особенности климата Среднего Поволжья – континентальность, засушливость, интенсивная ветровая деятельность, высокая инсоляция и нарастание повторяемости экстремальных высоких температур и экстремально малого количества выпавших осадков отрицательно влияют на высокую продуктивность кукурузы. В результате этого значительная часть хозяйств не может обеспечить стабильное полноценное питание крупного рогатого скота.

Одним из вариантов выхода из этой ситуации является использование в качестве силосной культуры сахарного и зернового сорго, которое благодаря своим свойствам, в частности засухо- и солеустойчивости, способно обеспечить постоянные высокие урожаи как зеленой массы, так и зерна даже в острозасушливые годы. Такая высокая выносливость к засухе делает его надёжной страховой культурой (Getachew G., 2016, Сыркина Л. Ф. и др., 2011) [1, 2]. Поскольку сорго требует меньше воды и плодородия почвы и имеет более высокую урожайность, чем кукуруза, сорговый силос пригоден для дойных коров и его целесообразно заменить до 75% в рационе. В целом ожидается, что сорговый силос заменит кукурузный силос в засушливых районах в качестве основного источника корма для дойных коров [3, 4].

Для Поволжского региона сахарное и зерновое сорго представляет большой интерес в плане вовлечения его в кормооборот в виде зелёной массы, консервированных кормов – сена, силоса, сенажа, зерносенажа, зерна (Гайко Н. Е. и др., 1997, Сыркина Л. Ф. и др., 2011) [5].

В зелёной массе сахарного сорго на силос содержание сухого вещества колебалось от 32,6 до 35,5%, сырого протеина от 7,2 до 7,7%, клетчатки – от 37,7 до 39,6%. Невысокое количество протеина в зелёной массе сорго сахарного (7,4%) говорит о необходимости создания силоса из сорго совместно с другими культурами (бобовыми) [6].

Вегетационный период сахарного сорго Кинельское 4 селекции Поволжского НИИСС составляет 92-105 сут., на силос – 80-90 сут. Засухоустойчив, жаростоек. Обладает высоким потенциалом продуктивности: зелёной массы 25,0-44,0 т/га, сухого вещества 8,0-14,0 т/га, семян 1,5-3,1 т/га. В соке стеблей в фазе восковой спелости содержится до 12% сахаров. В 1 ц силосной массы содержится 25-27 кг кормовых единиц.

Вегетационный период зернового сорго Премьера 76-100 дней. Низкорослый, высотой до 120 см. Устойчив к полеганию, ломкости стеблей и метелок при перестое, имеет сочную сердцевину стебля. Урожайность зерна до 4,4 т/га. В зерне содержится до 13% сырого протеина, 74% крахмала, 4% жира. К тому же с 1 га посева можно дополнительно получить до 10,0-15,0 т сочных стеблей, содержащих до 9% сахаров. Возможное использование сорта – на фуражное зерно и монокорм, а также для приготовления концентрированного силоса с культурами разного ботанического состава для всех видов животных и птицы.

Оптимальными сроками начала уборки злаковых трав считаются конец трубкования, для бобовых – фаза бутонизации. Сорго на силос убирают в фазе начала восковой спелости, когда оно имеет оптимальную влажность, минимальное количество синильной кислоты и высокую урожайность [7].

Сорго можно высевать совместно с бобовыми культурами (соя, кормовые бобы, люпин и др.) для повышения питательности корма, сбалансированного по сахаропротеиновому соотношению (1:1). За счет включения соевого компонента в сорговый силос увеличивается содержание протеина на 10,7-17,4%, жира – на 38,5-45,5%. Наибольший выход кормовых единиц с гектара сорго сахарного с соей 9,11-10,3 т/га, переваримого протеина – 0,45-0,83 т/га. Расчет обеспеченности переваримого протеина на 1 кормовую единицу с соей – в среднем 77,9 г; у кукурузы с соей – 76,4 г (Опанасенко Н.Е., 2011), [8]. Содержание протеина в силосе из сахарного сорго составляет 1,5 %, из смешанного посева сорго и сои – 2,0-2,2, чистого посева сои – 2,9%. Переваримость органического вещества силоса из сорго составляет 62,5%, смешанного посева сорго с соей – 63, 9 сои – 64,8% [9]. Совмещение этих культур не только повышает качество силоса из сорго, но и интенсифицирует производственные системы, что приводит к повышению урожайности и повышению питательной ценности силоса. Более того, этот подход смягчает проблемы, связанные с ферментацией силоса в эксклюзивных системах сорговых культур и бобовых трав [10, 11, 12].

Поэтому единственной на сегодняшний день зерновой культурой, которая может составить достойную конкуренцию кукурузе, является зерновое и сахарное сорго.

Цель работы – определить качество, химический состав и питательную ценность силоса и сенажа, приготовленных из одновидовых и совместных компонентов с культурами разного ботанического состава.

Методика исследований. Исследования по оценке питательности консервированных кормов были проведены на базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН и Самарского ГАУ. Объектами исследования для заготовки силоса являлись следующие культуры: сорго сахарное сорта Кинельское 4, сорго зерновое – Премьера, соя – Кинелянка и гибрид кукурузы – Кинбел 144 СВ.

Исследования проводились согласно Методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами (Новоселов Ю.К. и др., 1983) и Технологии производства продукции животноводства [13].

Опыт № 1. В лабораторных условиях был определен химический состав зеленой массы данных культур в фазе молочной спелости зерна сорго и кукурузы и восковой спелости сои (17 августа), а также заложен опыт в трехкратной повторности по силосованию (методом самоконсервирования) изучаемых образцов согласно схеме (таблица 1).

Таблица 1– Схема опыта
Table 1 – Scheme of Experience

Ботанический состав силоса / Botanical composition of silage	Соотношение культур, % / Crop ratio, %
Зерновое сорго / Grain sorghum	100
зерновое сорго + соя / Grain sorghum + soybean	50 + 50
соя + кукуруза / Soybean + Corn	50 + 50
зерновое сорго + кукуруза + соя / Grain sorghum + corn + soybean	35+35+30

Зелёная масса этих культур была измельчена на отрезки 1-1,5 см и засилосована в молочных флягах с плотно закрывающимися крышками. Фляги были оборудованы термометрами для контроля за температурным режимом в ходе силосования. На протяжении 60 дней силосование шло по «холодному методу» при температуре в пределах 18-20° С (ГОСТ Р 55986-2022).

По окончании созревания силосов была проведена органолептическая оценка кормов общепринятыми методами (А. М. Михина и Леппера-Флига), провели общий зоотехнический анализ биохимического состава (ГОСТ Р 55986-2014), (Ермаков А. И. и др., 1987).

Опыт № 2. Был определен химический состав зеленой массы сахарного сорго Кинельское 4 и зернового сорго Премьера в фазе молочно-восковой спелости зерна, и ее закладка на сенаж в один срок 03 сентября в КФХ «Василина» Больше-Черниговского района.

Содержание основных питательных веществ определяли по общепринятым методикам: общий азот – по Кьельдалю; жир – по сухому остатку в экстракторе Сокслета; клетчатка – по Геннебергу и Штоману; каротин – по Цирелю, золу по методу сжигания; БЭВ – расчетным методом; кальций – комплексометрическим методом; фосфор – ванадомолибдатным методом, SPEKOL 11.

Содержание кормовых единиц определяли путём пересчёта результатов химического состава зерна с помощью коэффициентов переваримости (Томмэ М. Ф., 1964).

Результаты и обсуждение. Оценивая питательную ценность каждой культуры, следует отметить, что ни одна из них не обладает полным комплексным составом питательных веществ: имея низкий показатель одного компонента, заметно отличается высоким содержанием другого.

В состав зеленой массы сорго сахарного в фазу молочной спелости входит мало протеина (21,0 г), фосфора (0,40 г), кальция (1,5 г) и каротина (18,0 г), клетчатки (60,0 г), но оно отличается высоким содержанием сахаров (26,0 г). Энергетическая ценность 1 кг зеленого корма сахарного сорго составляет 0,23 ЭКЕ и 0,19 КЕ. Сахарное сорго используют в кормлении сельскохозяйственных животных для нормализации сахаропротеинового отношения (таблица 2). В состав зеленой массы сорго зернового входит чуть больше, чем у сахарного сорго протеина (26,3 г), малое содержание фосфора (0,58 г), кальция (1,8 г) и каротина (17,16 г), но оно отличается высоким содержанием клетчатки (119,4 г), БЭВ (212,9 г), в т. ч. сахаров (23,0 г).

Таблица 2 – Питательная ценность натурального корма в 1 кг зеленой массы

Table 2 – Nutritional value of natural feed in 1 kg of green mass

Показатели / Indicators	Copro / Sorghum		Соя Кинельянка / Soy Kinelyanka	Кукуруза / Maize
	сахарное Кинельское 4 / sugar sorghum Kinelskoye 4	зерновое Премьера / Grain Premiere		
Сухое вещество, г / Dry matter, g	300,0	385,8	299,4	340,8
Протеин, г / Protein, g	21,0	26,3	43,5	17,8
Жир, г / Fat, g	8,0	13,2	16,3	10,7
Клетчатка, г / Fiber, g	60,0	119,4	83,8	98,4
Зола, г / Ash, g	21,0	14,0	18,2	17,2
БЭВ, г: в т.ч. сахар, г / BEV, g: incl. sugar, g	190,0 26,00	212,9 23,00	137,6 8,61	196,7 15,49
Каротин, г / Carotene, g	18,00	17,16	22,20	18,0
Кальций, г / Calcium, g	1,50	1,80	4,20	1,35
Фосфор, г / Phosphorus, g	0,40	0,58	1,12	0,67
Кормовые единицы (КЕ) / Feed Units (FUs)	0,19	0,20	0,23	0,22
ЭКЕ / ECE	0,23	0,27	0,33	0,30

Энергетическая ценность 1 кг зеленого корма зернового сорго в фазу молочной спелости составляет 0,27 ЭКЕ и 0,20 КЕ. Зерновое сорго, также как и сахарное, можно использовать для нормализации сахаропротеинового отношения.

В кукурузе мало протеина (17,8 г), фосфора (0,67 г), кальция (1,35 г) и каротина (18,0 г), но она отличается высоким содержанием безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) (196,7 г), клетчатки (98,4 г). Энергетическая ценность 1 кг кукурузы составляет 0,30 ЭКЕ и 0,22 КЕ. Высокая урожайность, хорошие кормовые достоинства, длительность периода использования сделали кукурузу непременным компонентом зеленого конвейера. Для увеличения протеиновой и минеральной питательности зеленой массы кукурузы ее рекомендуют скормливать в смеси с соей.

Соя отличается высоким содержанием белка (43,5 г), фосфора (1,12 г), кальция (4,2 г) и каротина (22,2 г), но низким содержанием безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) (137,6), в т.ч. сахара (8,61 г). В 1 кг зеленой массы сои выше всех изучаемых культур значение энергетической ценности (0,33 ЭКЕ) и кормовых единиц – 0,23. Сою полезно скормливать в смеси с кукурузой, отличающейся высоким содержанием углеводов.

Для того чтобы обеспечить сельскохозяйственных животных сбалансированным по питательным веществам кормом, широко применяется силосование из многокомпонентных смесей разных культур.

При органолептической оценке качества силоса по методу А. М. Михина было установлено, что все варианты силоса на протяжении всего срока хранения в течение 60 суток оцениваются как «очень хорошие», при этом процесс молочнокислого брожения протекал в

силосуемом сырье с разной интенсивностью в зависимости от ботанического состава (таблица 3). Силос исследуемых образцов имел ароматный фруктовый запах или запах квашеных овощей, зелено-оливковый цвет, хорошую рассыпчатую консистенцию. Активная кислотность силоса находилась в пределах pH=4,0-4,3% и не выходила за пределы требования ГОСТа.

Таблица 3 – Органолептические показатели силоса с культурами разного ботанического состава
Table 3 – Organoleptic characteristics of silage with crops of different botanical composition

Показатели / Indicators	Силос / Silage				
	Сорговый / Sorghum	сорго + соя / Sorghum + Soybean	соя + кукуруза / Soybean + Corn	сорго + соя + кукуруза / Sorghum + Soybean + Corn	ГОСТ 1 кл., кукурузного силоса / GOST 1 class, corn silage
Сухое вещество, г / Dry matter, g	325,0	320,0	300,0	310,0	300,0
Кормовые единицы / Feed units	0,29	0,28	0,27	0,28	0,20
ЭКЕ / ECE	0,32	0,32	0,31	0,31	0,23
Сумма кислот, %: из них / Sum of acids, %: of which	2,04/100	1,29/100	1,51/100	1,11/100	не менее / not less than
Молочная / Milk	1,63/80,0	0,81/63,0	1,29/86,0	0,95/86,0	70,0
Уксусная / Acetic	0,41/20,0	0,48/37,0	0,21/14,0	0,16/14,0	не указано / not specified
Масляная / Oil	-	-	-	-	не более 0,1 / not more than 0.1
Соотношение кислот (молочная : уксусная) / Acid Ratio (Lactic : Acetic)	4:1	1,7:1	6:1	6:1	не указано / not specified
pH	4,1	4,3	4,0	4,0	3,9-4,3

При проведении лабораторных исследований по оценке качества силоса методом Леппера-Флига было выявлено, что процесс молочнокислого брожения протекал в норме по ГОСТу (не менее 70,0%), а именно 80,0-86,0 %, за исключением варианта сорго + соя (63,0%).

По содержанию сухого вещества все варианты отвечают требованиям ГОСТа и колеблются в пределах 300-325 г/кг натурального корма.

Содержание кормовых единиц варьировало от 0,27 (соя + кукуруза) до 0,29 (сорго), энергетические кормовые единицы – от 0,31 (соя + кукуруза и сорго + соя + кукуруза) до 0,32 (сорго и сорго + соя), что превышает требования ГОСТа.

Чтобы силос не горел, необходимо наличие определенного количества уксусной кислоты. Однако, когда ее слишком много, корм будет плохо поедаться скотом. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы уровень уксусной кислоты был средним. Соотношение между содержанием молочной и уксусной кислот должно быть, по крайней мере, 3:1 (хорошее качество), но предпочтительнее 5:1 (отличное качество). В наших вариантах силос из сорго зернового относится к хорошему качеству, т.к. соотношение кислот 4:1, а на вариантах «соя + кукуруза» и «сорго + соя + кукуруза» – отличное качество (6:1).

Масляная кислота в силосе всех вариантов отсутствовала, что свидетельствует о нормальном течении процесса силосования.

Анализ данных исследований говорит о том, что все варианты силосования имеют отличные кормовые качества, особенно силос из однокомпонентного сорго и комбинированный в составе сорго + соя, которые будут удачно дополнять кормовой баланс зимних рационов (таблица 4).

Из анализа зелёной массы сорго зернового и сахарного, скошенной в фазу молочно-восковой спелости, следует, что масса имела высокое содержание сухих веществ (442,7 и 372,6 г/кг) и прямо с поля без трудоёмких операций – провяливания, заложена на сенаж.

Таблица 4 – Содержание в 1кг натурального корма сахарного и зернового сорго
Table 4 – Sugar and grain sorghum content in 1 kg of natural feed

Показатели / Indicators	Сорго зерновое / Grain sorghum		Сорго сахарное / Sugar sorghum	
	кормовая ценность / feed value			
	зеленой массы / Green Mass	Сенажа / Haylage	зеленой массы / Green Mass	Сенажа / Haylage
Сухое вещество, г / Dry matter, g	442,7	416,5	372,6	355,9
Сырой протеин, г / Crude protein, g	56,7	34,6	20,5	16,7
Сырой жир, г / Crude fat, g	14,0	10,2	13,4	7,9
Сырая клетчатка, г / Crude fibre, g	133,0	68,5	125,2	56,6
Сырая зола, г / Crude ash, g	37,5	16,9	32,2	16,6
БЭВ, г: в т.ч. сахар, г / BEV, g: incl. sugar, g	201,5 5,78	286,3 8,67	185,1 12,81	254,3 12,05
Каротин, г / Carotene, g	8,24	6,11	6,22	6,41
Кальций, г / Calcium, g	3,65	0,54	2,14	1,71
Фосфор, г / Phosphorus, g	0,72	1,94	0,51	2,15
ЭКЕ / ECE	0,39	0,42	0,32	0,36
Сумма кислот, %: из них / Sum of acids, %: of which	-	1,02/100	-	1,72/100
Молочная / Milk	-	0,64/62,7	-	1,06/61,6
Уксусная / Acetic	-	0,38/37,3	-	0,62/38,4
Масляная / Oil	-	Отсутствует / Missing	-	Отсутствует / Missing

В состав зеленой массы сорго зернового входит больше, чем у сахарного сорго, протеина (56,7 г), фосфора (0,728 г), кальция (3,65 г) и каротина (8,24 г), а также клетчатки (133,0 г), БЭВ (201,5 г), и меньше содержание сахаров (5,78 г). Энергетическая ценность 1 кг зеленого корма зернового сорго составляет 0,39 ЭКЕ.

В состав зеленой массы сорго сахарного входит меньше, чем у сорго зернового, протеина (16,7 г), фосфора (0,51 г), кальция (2,2 г) и каротина (6,22 г), клетчатки (125,2 г), но она отличается высоким содержанием сахаров (12,81 г). Энергетическая ценность 1 кг зеленого корма сахарного сорго составляет 0,32 ЭКЕ.

Следует отметить, что количество питательных веществ при хранении сенажа изменилось в сторону потерь или увеличения. Очевидно, это связано с тем, что в начальный период консервирования дыхание растительных клеток еще продолжается. Так, потери сухого вещества составили у зернового сорго 5,9%, у сахарного – 4,5%, протеина – 39,0; 18,5%, жира – 27,2; 41,0%. Количество клетчатки снизилось на 48,5; 54,8%, а безазотистых экстрактивных веществ – увеличилось на 42,1; 37,4% соответственно, что повысило усвояемость и качество корма. Содержание кальция уменьшилось у зернового сорго в 6,8 раз, у сахарного – 1,3 раза; фосфора – увеличилось в 2,7-4,2 раза.

Сенаж исследуемых образцов имел ароматный фруктовый запах, желто-зелено-сероватый цвет и хорошую рассыпчатую консистенцию.

Молочной кислоты в обоих образцах было больше, чем уксусной: у зернового сорго 62,7%, у сахарного – 61,6%. Масляная кислота в сенаже на обоих вариантах отсутствовала, что свидетельствует о нормальном течении процесса сенажирования.

Энергетическая ценность 1 кг сенажа из зернового сорго повысилась и составила 0,42, сахарного – 0,36 ЭКЕ.

Из данных таблицы № 4 следует, что сенаж из зернового и сахарного сорго имел хорошие показатели питательности корма.

Выводы. Анализ данных исследований показал, что все варианты силосования имеют отличные кормовые качества, особенно силос из одновидового компонента сорго и комбинированного в составе сорго + соя, которые будут удачно дополнять кормовой баланс зимних раци-

онов. Силос исследуемых образцов имел ароматный фруктовый запах или запах квашеных овощей, зелено-оливковый цвет, хорошую рассыпчатую консистенцию. Содержание сухого вещества одновидового компонента сорго 325 г/кг натурального корма, КЕ 0.29, ЭКЕ 0,32. Содержание сухого вещества в комбинированном составе сорго + соя 320 г/кг натурального корма, КЕ 0.28, ЭКЕ 0.32, что превышает требования ГОСТа.

Сенаж исследуемых образцов имел ароматный фруктовый запах, желто-зелено-коричневый цвет и хорошую рассыпчатую консистенцию. Энергетическая ценность 1 кг сенажа из зернового сорго составила 0,42, сахарного – 0,36 ЭКЕ.

Силос и сенаж из зернового и сахарного сорго имел хорошие показатели питательности корма, которые будут удачно дополнять кормовой баланс зимних рационов.

Conclusions. Analysis of these studies showed that all silage options have excellent feed qualities, especially silage from the single-species component sorghum and the combined sorghum + soybean + corn component, which will successfully complement the feed balance of winter rations. The silage of the studied samples had an aromatic fruity smell or the smell of pickled vegetables, green-olive color, and a good crumbly consistency. The dry matter content of the single-species component of sorghum is 325 g/kg of natural feed, KE 0.29, ECE 0.32. The dry matter content in the combined composition of sorghum + soybeans is 320 g/kg of natural feed, KE 0.28, ECE 0.32, which exceeds the requirements of GOST. The haylage of the studied samples had an aromatic fruity smell, yellow-green-brown color and a good crumbly consistency. The energy value of 1 kg of grain sorghum haylage was 0.42, sugar - 0.36 ECE. Silage and haylage from grain and sugar sorghum had good nutritional values of the feed, which will successfully complement the feed balance of winter rations.

Библиографический список

1. Большаков А. З., Целовальников И. К., Семенова Ф. К. Зерновое сорго как новый кормовой ресурс для КРС молочного и мясного направления в условиях планетарного потепления климата. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 109-113. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3764>
2. Митрофанов Д. В., Ткачёва Т. А. Продуктивность сорго на силос в зависимости от метеословий, почвенной влаги и подвижных элементов питательных веществ на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья. Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 71-77.
3. Xiaokang Lv, Liang Chen, Chuanshe Zhou, Guijie Zhang, et al. Application of different proportions of sweet sorghum silage as a substitute for corn silage in dairy cows. Food Science & Nutrition. 2023. Vol. 11. Is. 6. Pp. 3575-3587.
4. Khosravi M., Rouzbehan Y., Rezaei M., Rezaei J. Total replacement of corn si-lage with sorghum silage improves milk fatty acid profile and antioxidant capacity of Holstein dairy cows. Journal of dairy science. 2018. Vol. 101. Is. 12. Pp. 10953-10961.
5. Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Семин Д., Куколева С. С. Сахарное сорго для возделывания в засушливых регионах РФ. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022 № 29 (192). С. 66-75.
6. Ковтунова Н. А., Ермолина Г. М., Горпиниченко С. И., Романюкин А. Е. Кормовая ценность сахарного сорго. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3. С. 21-25.
7. Гракун В. В., Заневский А. К., Попков Н. А. Техническое обеспечение технологий заготовки высококачественных кормов. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». 2017. 77 с.
8. Ерохина А. В., Бычкова В. В., Плаксина В. С. Оценка качества силоса из нетрадиционных кормовых культур. АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал. 2023. № 4. http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/4/st_402.pdf.
9. Кушхов А. С. Агротехника смешанных посевов сахарного сорго с соей в степной зоне Кабардино-Балкарии. Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 3 (21). С. 151-154.
10. Perazzo A. F., Carvalho G. G., Santos E. M., Bezerra H. F., et al. Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. Front. Plant Sci. 2017. Vol. 8.
11. Ribeiro F. M., Lima M., Costa P. A. T., et al. Silage quality of sorghum and cultivars monocropped or intercropped in different planting systems. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2019. Vol. 39 (3). Pp. 243-250.
12. Veriato F. T., Pires D. A. A., Tolentino D. C., Alves, D. D., et al. Fermentation characteristics and nutritive values of sorghum silages. Acta Scientiarum. Animal Sciences. V. 40 (1). e34458.
13. Мурусидзе Д. Н., Лерега В. Н., Филонов Р. Ф. Технологии производства продукции животноводства: учеб. пособие. М.: Издательство Юрайт, 2019. 417 с.

References

1. Bolshakov A. Z., Tselovalnikov I. K., Semenova F. K. Grain sorghum as a new feed resource for dairy and meat cattle in conditions of planetary warming. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2023. No 2. Pp. 109-113. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3764>.
2. Mitrofanov D. V., Tkacheva T. A. Productivity of sorghum for silage depending on weather conditions, soil moisture and mobile nutrient elements on the southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals. News of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No 3 (83). Pp. 71-77.
3. Xiaokang Lv, Liang Chen, Chuanshe Zhou, Guijie Zhang et al. Application of different proportions of sweet sorghum silage as a substitute for corn silage in dairy cows. Food Science & Nutrition. 2023. Vol.11. Is. 6. Pp. 3575-3587.
4. Khosravi M., Rouzbehan Y., Rezaei M., Rezaei J. Total replacement of corn si-lage with sorghum silage improves milk fatty acid profile and antioxidant capacity of Holstein dairy cows. Journal of dairy science. 2018. Vol. 101. I. 12. Pp. 10953-10961.

5. Kibalnik O. P., Efremova I. G., Semin D., Kukoleva S. S. Sweet sorghum for cultivation in arid regions of the Russian Federation. *News of agricultural science Tavrda*. 2022 No 29 (192). Pp. 66–75.
6. Kovtunova N. A., Ermolina G. M., Gorpichenko S. I., Romanyukin A. E. Feed value of sweet sorghum. *Agricultural science of the Euro-North-East*. 2017. No 3. Pp. 21–25.
7. Grakun V. V., Zanevsky A. K., Popkov N. A. Technical support for technologies for preparing high-quality feed. Minsk: RUE "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry". 2017. 77 p.
8. Erokhina A. V., Bychkova V. V., Plaksina V. S. Assessment of the quality of silage from non-traditional forage crops. *AgroEcoInfo: Electronic scientific and production magazine*. 2023. No. 4. http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/4/st_402.pdf.
9. Kushkhov A. S. Agricultural technology of mixed crops of sweet sorghum and soybeans in the steppe zone of Kabardino-Balkaria. *Innovation and food security*. 2018. No 3 (21). Pp. 151–154.
10. Perazzo A. F., Carvalho G. G., Santos E. M., Bezerra H. F., et al. Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. *Front. Plant Sci*. 2017. V. 8.
11. Ribeiro F. M., Lima M., Costa P. A. T., et al. Silage quality of sorghum and cultivars monocropped or intercropped in different planting systems. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 2019. Vol. 39 (3). Pp. 243–250.
12. Veriato F. T., Pires D. A. A., Tolentino, D. C., Alves D. D., et al. Fermentation characteristics and nutritive values of sorghum silages. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 40 (1). e34458.
13. Murusidze D. N., Legeza V. N., Filonov R. F. Technologies for the production of livestock products: textbook. allowance. M.: Yurayt Publishing House, 2019. 417 p.

Информация об авторах

Антимонова Ольга Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур Поволжского научно – исследовательского института селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), e-mail: antimonovaolga@list.ru

Сыркина Любовь Федоровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур Поволжского научно – исследовательского института селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), e-mail: L.syrkina.05@mail.ru

Антимонов Александр Константинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур Поволжского научно – исследовательского института селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), e-mail: antimonov.63@mail.ru

Author's Information

Antimonova Olga Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior researcher at the laboratory of selection and seed production of cereals and sorghum crops Volga Research Institute of Breeding and seed production named after P. N. Konstantinov – branch of Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust'-Kinel'skiy, Shosseynaya street, 76), E-mail: antimonovaolga@list.ru

Syrkina Lyubov Fedorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Selection and Seed Production of Cereals and Sorghum Crops Volga Research Institute of Breeding and seed production named after P. N. Konstantinov – branch of Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust'-Kinel'skiy, Shosseynaya street, 76), E-mail: nti.gnu_pniiss@mail.ru

Antimonov Aleksander Konstantinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Selection and Seed Production of Cereals and Sorghum Crops Volga Research Institute of Breeding and seed production named after P. N. Konstantinov – branch of Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust'-Kinel'skiy, Shosseynaya street, 76), E-mail: antimonov.63@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-08

ECOLOGICAL AND PHYTOCENOTIC STATE OF FLOODPLAIN FORESTS IN THE VICINITY OF THE CITY OF ORENBURG AND THEIR RECREATIONAL USE

Vasilyeva T. N., Ryabinina Z. N., Ivanova E. A.

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

Corresponding author E-mail: vtn1972@mail.ru

Received 22.01.2024

Submitted 20.05.2024

The research was carried out in accordance with the state assignment for 2022-2024. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FNWZ-2022-0014

Summary

The article presents the results of geobotanical research and describes the succession series. They gave a complete geobotanical and ecological-phytocenotic description of the study area.

Abstract

Introduction. Urban forests are considered to be the cultural heritage of Orenburg. The article provides data on the ecological and phytocenotic state of floodplain forests carried out on the territory of two forest park areas, urban plantings of the city of Orenburg. **Object of study.** "Transural Grove" and "Oaks". In the study areas, the following succession series is distinguished: willow forests (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L.) – willow forests (*S. alba* L.) – sedge forests (*Populus nigra* L.) – white poplar forests (*P. alba* L.) – elm forests (*Ulmus laevis* Pall.) – oak forests (*Quercus robur* L.). **Results and conclusions.** Within these formations, seven main, most common associations have been identified: willow forests with a predominance of three-stamen willow, brome grass, blackberry willow, common sedge, white reed grass, blackberry elm, oak-lily of the valley elm. Of the total number of species growing in the study area, 96 species are herbaceous plants, 14 are woody plants, 11 are shrubs and subshrubs. In the study area, 121 species of vascular plants were recorded, they belong to 38 families and 99 genera. Due to the increase in anthropogenic impact, plant communities with the dominance of *Acer negundo* L. appeared. In areas No. 1, 2, 3, ruderal plant species were noted: *Ambrosia trifida* L., *Urtica dioica* L., *U. urens* L., *Xanthium strumarium* L., *Cannabis ruderalis* Janisch., *Biden tripartite* L., *Shenopodium hybridum* L. and others. According to a survey on the territory, weeds make up about 10% of the total number of plant species, this is one of the signs of recreational digression of the urban floodplain forest. To preserve natural forest communities, it is necessary to carry out constant monitoring and environmental measures to preserve the species diversity of plant communities characteristic of the floodplains of steppe rivers.

Keywords: greening of cities, urban plantations, floodplain forests, improvement of the urban environment.

Citation. Vasilyeva T. N., Ryabinina Z. N., Ivanova E. A. Ecological and phytocenotic state of floodplain forests in the vicinity of the city of Orenburg and their recreational use. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 70-81 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-08.

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

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

УДК 630:502/504

ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА ОРЕНБУРГА И ИХ РЕКРЕАЦИОННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Васильева Т. Н., кандидат биологических наук, ученый секретарь

Рябинина З. Н., кандидат биологических наук, научный сотрудник

Иванова Е. А., доктор биологических наук, профессор

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
г. Оренбург, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания за 2022-2024 гг. Министерства науки и высшего образования РФ FNWZ-2022-001

Актуальность. Городские леса относят к культурному наследию г. Оренбурга. В статье приводятся данные эколого-фитоценотического состояния пойменных лесов, проведенные на территории двух участков лесопаркового хозяйства, городских насаждений города Оренбурга. **Объект исследования:** «Зауральная роща» и «Дубки». На исследуемых участках выделяют следующий сукцессионный ряд: ивняки (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L.) – ветловники (*S. alba* L.) – ооскорники (*Populus nigra* L.) – белотопольники (*P. alba* L.) – вязовники (*Ulmus laevis* Pall.) – дубняки (*Quercus robur* L.). **Материалы и методы.** Для эколого-фитоценотического анализа была заложена серия площадок, расположенных на разных уровнях, в пойменной части реки Урал, по общепринятой методике. **Результаты и выводы.** В пределах данных формаций выделены семь основных, наиболее часто встречающихся ассоциаций: ивняки с преобладанием ивы трехтычинковой, ветловник кострцовый, ветловник ежевичный, ооскорник ветлово-кострцовый, белотопольник вейниковый, вязовник ежевичный, вязовник дубово-ландышевый. В районе исследования было отмечено 121 вид сосудистых растений, они относятся к 38 семействам и 99 родам. В связи увеличением антропогенного воздействия появились растительные сообщества с доминированием *Acer negundo* L. На участках № 1, 2, 3 отмечены рудеральные виды растений: *Ambrosia trifida* L., *Urtica dioica* L., *U. urens* L., *Xanthium strumarium* L., *Cannabis ruderalis* Janisch., *Biden tripartite* L., *Shenopodium hybridum* L. и другие. По данным обследования на территории, сорные растения составляют около 10 % от общего количества видов растений, это является одним из признаков рекреационной дигрессии городского пойменного леса. Для сохранения естественных лесных сообществ необходимо проводить постоянный мониторинг и природоохранные мероприятия по сохранению видового разнообразия растительных сообществ характерных для поймы степных рек.

Ключевые слова: озеленение городов, городские насаждения, пойменные леса, оздоровление городской среды.

Цитирование. Васильева Т. Н., Рябина З. Н., Иванова Е. А. Эколого-фитоценотическое состояние пойменных лесов в окрестностях города Оренбурга и их рекреационное использование. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 70-81. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-08.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Лес – система, обладающая одной из самых богатых видами биогеоценозов на планете [1]. Урбанизация, рост городского населения, увеличение уровня промышленного производства приводит к сокращению площадей лесных насаждений городов. Такие исследования были отражены в работах многих авторов, так в 2023 г. была проведена оценка изменений площади зеленого покрытия города Челябинск с использованием изображений LANDSAT, в результате анализа спутниковых снимков обнаружили, что за последние 20 лет общее зеленое покрытие в городе значительно уменьшилось [2]. Проводился геоинформационный мониторинг и картографирование площади лесных массивов Иле-Алатауского государственного национального природного парка. Сравнение индексов фрагментации за 2014 и 2020 гг. показало, что в целом для всей территории Иле-Алатауского национального парка характерно ухудшение показателей фрагментированности лесных массивов [3]. Другие исследователи [4] анализировали структуру и состояние живого напочвенного покрова сосновых насаждений Экопарка “Затюменский”. В данном исследовании отметили, что наибольшему рекреационному воздействию подвержены сосняки вблизи благоустроенной тропиной сети и выявили, что с увеличением рекреационного воздействия общая закономерность снижения показателя общего проективного покрытия живого напочвенного покрова (ЖНП) уменьшается [4]. Работы по озеленению и благоустройству улиц, рекреационных зон во многом формируют имидж города, характеризуют отношение администрации к горожанам, так или иначе выделяют город среди других населенных пунктов [5, 6, 7]. В Оренбургской области пойменные леса имеют важное почвозащитное, водоохранное и социально-экологическое значение. Эта проблема имеет для региона особое значение, в силу его географического положения в условиях резко-континентального климата. В настоящее время количественные и качественные характеристики городских лесных насаждений Оренбурга не соответствуют современным требованиям, которые по нормативам должны быть не менее 13 квадратных метров на человека [8, 9]. К сожалению, высадка деревьев и кустарников во время массовых мероприятий очень часто приводит к гибели значительного количества саженцев. Причиной этого являются: высадка интродуцированных растений без учета их видового состава и приспособленности к погоднo-климатическим условиям степных экосистем, в результате чего часть деревьев и кустарников гибнет; отсутствие нужного и своевременного ухода за имеющимися посадками; непрофессиональная обрезка кроны древесных насаждений, в том числе варварское отношение некоторых жителей к зеленым насаждениям. Для того чтобы работы по озеленению города увенчались успехом, все мероприятия по озеленению и благоустройству города должны проходить системно и последовательно, что невозможно без регулярного и научного мониторинга зеленых насаждений. Для увеличения площади зеленых насаждений города Оренбурга большое значение имеют участки лесопаркового хозяйства – «Зауральная роща» и «Дубки».

Цель исследования. Изучить эколого-фитоценотическое состояние основных типов пойменных лесов на территории «Зауральная роща» и «Дубки» окрестностей города Оренбурга и предложить рекомендации по их сохранению и рекреационному использованию.

Задачи исследования.

1. Описать основные лесные растительные сообщества территории исследования.
2. Оценить их состояние и значение для рекреационного использования.
3. Предложить мероприятия по использованию и сохранению данных участков.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись лесные сообщества на участках, расположенных в пойменной части реки Урал в пределах города Оренбурга. С этой целью были выделены 6 пробных участков для проведения описаний [1]. При опреде-

лении принадлежности отдельных участков леса к тому или иному типу были использованы следующие показатели: наличие в древостое одной и той же господствующей породы; флористический состав; жизненные формы; вертикальное расчленение фитоценоза; почвы принадлежащей к одной и той же разности и приуроченность к определенной форме рельефа в пределах поймы для установления постепенного перехода растительных сообществ от низкого уровня поймы к ее повышенным участкам [22].

Схема эксперимента.

Выделение участков исследования (рисунок 1):

№ 1 – левый берег прирусловой части поймы реки Урал в Зауральной роще (трансупераквальная фация рельефа);

№ 2, 3 – окрестности старицы рекреационной части Зауральной рощи левого берега реки Урал (пойменные фации рельефа);

№ 4, 5 – лесной массив «Дубки» правого берега центральной части поймы реки Урал (пойменные фации рельефа);

№ 6 – лесной массив «Дубки» прирусловой части правого берега р. Урала (трансупераквальная фация рельефа).

В пределах шести участков были заложены пробные площадки для геоботанического описания растительных сообществ: от 100 м² – для описания травяных сообществ, до 400 м² – для описания древесных сообществ. Всего заложено на данной территории около 200 пробных площадей [1, 11, 12, 13]. Описание лесных растительных сообществ сопровождалось их привязкой на местности по положению их в рельефе [1].



Рисунок 1 – Карта-схема района исследования рекреационных лесных фитоценозов г. Оренбурга
Figure 1 – Map-scheme of the study area of recreational forest phytocenoses in the city of Orenburg

На пробных площадках проводили учёт флористического состава фитоценоза. Для древесного яруса указывали диаметр и сомкнутость крон, высоту деревьев, средний возраст, количество стволов, полноту для каждого элемента леса, количество подроста, всходов на всей пробной площадке в целом. При описании травяных сообществ отмечали общее проекционное покрытие, выявляли полный флористический состав [1, 11, 12, 13]. Геоботаническое и эколого-фитоценотическое описание проводили на каждой пробной площадке, по общепринятой методике В. Н. Сукачева, С. В. Зонна [1]. На участках исследования проводился сбор гербария. Идентификацию растений проводили с использованием «Определителя сосудистых растений Оренбургской области» [16]. Для работы по определению растений использовали биноклярные лупы, микроскоп Микмед-5 (биноклярный).

Статистическая обработка. Проводилась с использованием приложения «Statistica 10.0». Анализ включал определение средней арифметической (M), стандартной ошибки средней величины (m). Достоверность различий определяли по t-критерию Стьюдента, где P ≤ 0,05.

Результаты. Растительность исследуемых территорий представляет собой лесные участки, чередующиеся с остепнёнными лугами [5]. Почвы района исследования аллювиальные, представленные двумя типами: аллювиально-дерновые, пойменно-дерновые. Река Урал имеет снеговое питание, поэтому наибольшая часть годового стока падает на весеннее половодье. Пойменные участки отличаются продолжительностью затопления (максимальное затопление 1-3 дня, относительно высокое затопление 20-40 дней), флористическим разнообразием [10]. Исследуемые участки представляют собой восточный рубеж Европейской широколиственной флоры и представлены смешанными древостоями с участием *Populus nigra* L., *P. alba* L., *Ulmus laevis* Pall., *Quercus robur* L., *Acer negundo* L., присутствие последнего свидетельствует об антропогенном влиянии на данную флору. Во флоре исследуемого района отмечены 121 вид сосудистых растений, они относятся к 38 семействам и 99 родам. Самыми многочисленными семействами среди представителей травяного яруса являются: Asteraceae Dumort. – 27 видов; Rosaceae Adans. – 13 видов, Apiaceae Lindl. – 9 видов, Poaceae Barnh. – 9 видов, Fabaceae Lindl. – 7 видов. Из общего числа видов, произрастающих на территории района исследования, 96 видов составляют травяные растения, 14 видов – древесные растения, 11 видов – кустарники и полукустарники.

Изучение состава экобиоморф показало распределение растений по экологическим группам: мезофиты – 71 вид (59% от общего числа видов растений), ксеро-мезофиты – 19 видов (15% от общего числа видов растений), гигрофиты – 7 видов (6% от общего числа видов), гидрофиты – 6 видов (5% от общего числа видов), гигро-гидрофиты – 2 вида (2% от общего числа видов), ксерофиты – 16 видов (13% от общего числа видов). Во флоре пойменного леса реки Урал преобладают мезофиты (59%), так как под пологом леса меньше света и температура воздуха ниже, чем на открытых исследуемых участках. Пойменные леса Оренбуржья относятся к интразональной растительности. Большая часть мезофитов была обнаружена на участках № 4-6, то есть на правом берегу центральной части поймы реки Урал (пойменные фации рельефа). Для данных фаций характерен специфический водный режим, то есть наблюдается регулярное затопление во время весеннего половодья [13]. В районе исследования участка №3 встречаются виды ксерофитного характера: ксеромезофиты (15%), ксерофиты (13%), преобладающие в травостоях сообществ остепненных лугов. Этиквизинатуральные сообщества находятся в пределах территории городской черты в рекреационной зоне и в течение многих лет не затоплялись. Влаголюбивые виды представляют собой сравнительно небольшую группу, так гигрофиты (6 %), гидрофиты (5%), гигро-гидрофиты (2%).

Биологический спектр жизненных форм по Раункиеру района исследования пойменного леса следующий: фанерофиты – 27 (22%) видов, гемикриптофиты – 62 (51%) вида, криптофиты – 20 (16%) видов, терофиты – 10 (8%) видов, хамефиты – 2 (1%) вида. В районе исследования преобладают гемикриптофиты (51%), фанерофиты (22%) и криптофиты (16%) – это связано с приспособлением пойменной флоры к резко-континентальному климату и их произрастанием в степной растительной зоне: 22% – приходится на древесные и кустарниковые формы. В природной среде лес регулирует такие важные факторы, как свет, тепло, влага, которые играют значительную водоохранную роль. Средний возраст пойменного леса района исследования 50-80 лет [17]. Усредненные данные диаметра средневозрастного древостоя составляют 60,55 см. Средняя высота первого яруса 14,5 м, максимальная 17 м. Лесной массив района исследования имеет среднюю полноту 0,6-0,7 [17].

Пойменные леса Урала и Предуралья приурочены к пониженным частям водораздельных и долинных склонов, иногда выходя на высокие участки водоразделов. Флора пойменных речных долин складывается под непосредственным воздействием пойменно-аллювиального режима почв, который в исследуемом отрезке поймы часто представлен равнинно-гравийным рельефом. Зональные особенности показаны в работах А.П. Шенникова [12] в 1941 году, Грибовой С. А. [15] в 1980 году, где приводятся описание основных групп формаций пойменных лугов. В пойме реки Урал встречается классический сукцессионный ряд, подобное описание было ещё у Л.Г. Раменского в 1926 году [14]. Пойма реки Урал на территории исследования не образует заключённой стадии развития и представлена эколого-динамическим рядом: ивняки (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L.) – ветловники (*S.*

Alba L.) –осокорники (*Populus nigra* L.) – белотопольники (*P. alba* L.), вершины высоких грив занимают вязовники (*Ulmus laevis* Pall.) с участием *Quercus robur* L. Для этого ряда характерно наибольшее число звеньев, представленных лесными сообществами.

Для каждого типа леса были описаны растительные сообщества, характеризующиеся определенным видовым составом древесно-кустарникового и травяного ярусов, объединенных в формации. В пределах данных формаций выделены семь основных, наиболее часто встречающихся ассоциаций: ивняки с преобладанием ивы трехтычинковой и ивы корзиночной, ветловник кострецовый, ветловник ежевичный, осокорник ветлово-кострецовый, белотопольник вейниковый, вязовник ежевичный, вязовник дубово-ландышевый. На изучаемых участках были выделены 3 яруса: древесный, кустарниковый и травяной.

Ивняки характерны для участка № 1 – левого берега прирусловой части поймы реки Урал в Зауральной роще. Для данного участка характерны сообщества ивняков, которые формируются на свежееотложенной аллювиальной части прибрежной отмели и представляют собой обильный самосев кустарниковых ив: *Salix triandra* L., *S. viminalis* L., иногда к зарослям этих ив примешивается *S.purpurea* L. (таблица 1). Высота этих кустарников на второй год жизни составляет один метр. Сомкнутость кустарникового яруса составляет 0,4. Продолжительность жизни ивняков 15-18 лет. Вслед за этим периодом на этом месте появляются всходы *S. Alba* L. и *Populus nigra* L. Травяной ярус представлен злаковой формацией, с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roht. Общее проективное покрытие травяного покрова составляет 60-70%. Травяной покров представлен обычными пионерами зарастания песков: *Bidens tripartita* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roht. *Elytrigia repens* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steud. В описаниях отмечены 37 видов растений из 16 семейств.

Ветловники (*Salix alba* L.) выдерживают длительное затопление до 60 дней, *Salix alba* L. является одной из самых выносливых древесных пород района исследования. Наибольшее развитие ветловников приходится на возраст 30-35 лет. Высота *S. alba* L. в это время достигает 16-20 метров. Участок №2 – окрестности старицы рекреационной части Зауральной рощи левого берега реки Урал. На территории участка преобладает ветловник кострецовый (*Salix alba* L.– *Bromopsis inermis* Leyss.), который поселяется на аллювиально-дерновых почвах, представляет собой двурусное сообщество с сомкнутостью крон древостоя 0,5, средней высотой 12 метров и возрастом 15-20 лет. В составе древостоя иногда встречается *Populus nigra* L., некоторые экземпляры которого доживают до 80 лет (таблица 1). Общее проективное покрытие травостоя 50-60%, иногда он сильно изрежен. Доминирует *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub встречается *Agrostis stolonifera* L. *Galium boreale* L., *Elytrigia repens* L., *Calystegia sepium* (L.) R. Br. Среди сорных растений характерны *Arctium tomentosum* Mill., *Lactuca tatarica* (L.) C.A. Mey., *Shenopodium hybridum* L. В описаниях отмечены 39 видов растений из 19 семейств.

На участке № 4 чаще встречается ветловник ежевичный. Он формируется в прирусловой зоне на пойменно-аллювиальных почвах, преимущественно в низинной части прирусловой поймы. Сомкнутость крон древесного яруса 0,5-0,8. В древостое отмечены единичные экземпляры: *Acer negundo* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. и *Ulmus laevis* Pall. Кустарниковый ярус в ветловнике слабо развит, иногда встречаются *Rosa majalis* Herm., *Salix viminalis* L., *Salix triandra* L. (таблица 1). Доминирует *Rubus caesius* L. Травяной покров густой общее проективное покрытие 70%-80%. Средняя высота 30-40 см. Кроме этого встречаются *Aristolochia clematitis* L., *Galium boreale* L. и др. В описаниях отмечены 74 вида из 30 семейств.

Осокорники (*Populus nigra* L.) – имеют схожие условия обитания с ветловниками, они менее требовательны к почве, чем другие виды тополя. Произрастают на аллювиальных, песчаных и супесчаных почвах. Являются основной лесообразующей породой топольных лесов в пойме реки Урал (таблица 1). Достигают высоты 30-40 метров. В понижениях с застоявшимися паводковыми водами развиваются плохо, а в промежуточных условиях корневая система осокоря дает обильную поросль. Участок №3 – расположен в прирусловой части поймы, окрестности старицы рекреационной части Зауральной рощи левого берега реки Урал. Для данного участка характерен осокорник ветлово-кострецовый (*Populus*

nigra L. – *Salix alba* L. – *Bromopsis inermis* Leyss.). В этих условиях произрастает *Populus nigra* L. Древесный ярус имеет сомкнутость крон 0,4. Встречается *Salix alba* L., *Ulmus laevis* Pall., *Acer negundo* L. Кустарниковый ярус образован *Frangula alnus* Mill., *Lonicera tatarica* L., *Prunus spinosa* L. и *Salix triandra* L (табл. 1). Травяной покров густой, общее проективное покрытие 80-90%, средняя высота 40 см. Доминирует *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub. В видовом составе отмечены: *Euphorbia palustris* L., *Galium boreale* L., *Rubus caesius* L., *Aristolochia clematitis* L., всего 77 видов из 20 семейств.

Белотополевник вейниковый (*Populus alba* L. – *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) произрастает на высоких участках центральной поймы (участок № 5) светлых малогумусных, пойменно-дерновых почвах, территории которых часто подвержены паводку, глубина залегания грунтовых вод не меньше 4-5 метров. Основу древесного яруса составляет *Populus alba* L. Кустарниковый ярус представлен: *Rosa majalis* Herm., *Lonicera tatarica* L., *Rhamnus cathartica* L. и др. (таблица 1). Сомкнутость крон кустарникового яруса составляет 0,7. Травяной покров густой с проективным покрытием 60-70% и средней высотой 65-70 см. На рыхлых песчаных наносах доминирует *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, примешивается *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, появляется *Artemisia dracuncululus* L. На повышенных местообитаниях с *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth встречается *Glycyrrhiza glabra* L., образующая солодко-вейниковые сообщества. С понижением рельефа и с повышенной влажностью почв образуются осоково-вейниковые сообщества. Для травостоя белотополевника-вейникового характерно небольшое число видов, среди них отмечены луговые, лесные, степные, лугово-болотные, например, *Glechoma hederaceae* L., *Poa pratensis* L., *Carex melanostachya* Bieb. ex Willd., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Veronica sedoides* L. и др. Таким образом, с изменением рельефа меняется его видовой состав. Белотополевник вейниковый так же характерен и для участка № 6 – лесной массив «Дубки» прирусловой части правого берега р. Урал (трансупераквальная фация рельефа). Древесный ярус представлен *Populus alba* L., редко встречается *Quercus robur* L. Сомкнутость крон 0,6. Подлесок состоит из кустарниковых ив: *Salix triandra* L., *S. viminalis* L., иногда к зарослям этих ив примешивается *S. purpurea* L. (таблица 1). Сомкнутость кустарникового яруса составляет 0,4. На участке № 6 общее проективное покрытие травяного покрова составляет 60-70%. Травяной ярус представлен злаковой формацией, с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. Травяной покров представлен: *Bidens tripartita* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub. *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Elytrigia repens* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. В описаниях отмечено 64 вида травяных растений из 30 семейств.

Вязовники (*Ulmus laevis* Pall.) произрастают на местообитаниях, которые затопляются на 10-15 дней, встречаются в центральной и высокой части поймы. Они образуют переходное сообщество между мелколистными лесами прирусловой поймы и широколиственными лесами центральной части поймы, на почве богатой гумусом и минеральными солями, с благоприятным увлажнением. Вязовник ежевичный (*Ulmus laevis* Pall. – *Rubus caesius* L.) наиболее распространенное сообщество вязовников, встречается повсеместно на исследуемых участках № 2, № 3, а также может произрастать в понижениях по берегам стариц. Древостой представлен *Ulmus laevis* Pall. В кустарниковом ярусе встречаются *Prunus spinosa* L., *Rosa majalis* Herm., *Lonicera tatarica* L. (таблица 1). Травяной покров в вязовнике ежевичном густой, общее проективное покрытие 90-100%. Средняя высота 75-80 см. В травостое вязовника доминирует *Rubus caesius* L., часто встречаются: *Aristolochia clematitis* L., *Bidens tripartita* L., *Galium boreale* L., *Mentha aquatica* L.; единично встречаются виды растений: *Calystegia sepium* (L.) R. Br., *Carex melanostachya* M. Bieb. ex Willd., *Glechoma hederaceae* L.

Вязовник дубово-ландышевый (*Ulmus laevis* Pall. + *Quercus robur* L. – *Convallaria majalis* L.) является промежуточным звеном между дубняками и вязовниками, располагается в центральной части поймы, участок № 4, № 5, вдоль стариц и на участках до 7 метров над уровнем реки. Основная лесообразующая порода *Ulmus laevis* Pall., с примесью *Quercus robur* L. Отмечен подрост из *Fraxinus excelsior* L. Среди кустарников *Viburnum opulus* L., *Spiraea crenata* L., *Prunus spinosa* L., *Rosa majalis* Herm., *Lonicera tatarica* L. и другие. В описаниях отмечены 86 видов из 34 семейств.

Таблица 1 – Описание реперных участков лесного массива

Table 1 – Description of reference areas of the forest area

№	Ярусы древесные и кустарниковые / Tiers of trees and shrubs	Сомкнутость крон / Crown closure	Формула / Formula	D(1,3), см	Нд, м	Возраст древостоя / Age of the forest stand
1	Спелый древостой / ripe tree stand	0,4	3ТБ3Кл6В	69,95	8,62±1,12	65±3,22
	Подрост / teenager	0,6	6В 4Кл	4,06	2,61±0,005	
	Подлесок / undergrowth	0,4	8И2С	0,79	1,15±0,08	
2	Спелый древостой / ripe tree stand	0,6	8ТБ2В	56,11	16±0,33	65±3,22
	Подрост / teenager	0,4	2Т2И	6,61	4±0,33	
	Подлесок / undergrowth	0,6	5Ш2Р3Сп	0,95	2,4±0,06	
3	Спелый древостой / ripe tree stand	0,4	9ТБ1В+ед.Б	56,87	16±0,33	65±3,22
	Подрост / teenager	0,4	8ТБ2И	5,65	2,8±0,07	
	Подлесок / undergrowth	0,6	7И2Р1Ш	1,01	1,5±0,33	
4	Спелый древостой / ripe tree stand	0,6	9ТБ 1В +ед Д, ед Б	47,54	16±0,33	65±3,22
	Подрост / teenager	0,5	5Кл4ТБ1В	4,98	2,61±0,005	
	Подлесок / undergrowth	0,6	5Сп5Ш+Ч,едР	0,61	2,52±0,06	
5	Спелый древостой / ripe tree stand	0,6	10ТБ+Д, ед. В, Б	66,16	16±0,33	65±3,22
	Подрост / teenager	0,6	5Кл4ТБ1В	6,65	3,5±0,16	
	Подлесок / undergrowth	0,7	5Сп5Ш	0,85	1,5±0,33	
6	Спелый древостой / ripe tree stand	0,6	10ТБ+Д, ед. В, Б	66,71	16±0,33	65±3,22
	Подрост / teenager	0,5	5Кл4ТБ1В	6,84	3,5±0,16	
	Подлесок / undergrowth	0,7	5И5Ск	1,23	2,5±0,16	

Примечания: ТЧ – тополь черный, ТБ – тополем белым, Кл – клен американский, В – вяз мелколистный, И – ива трехтычинковая, С – сирень обыкновенная, Сп – спирея городчатая, Ш – шиповник майский, Р – рябина обыкновенная, Д – дуб черешчатый, Б – береза бородавчатая, Ч – черемуха обыкновенная, Ск – слива колючая. D (1,3), см – средний диаметр древостоя, на высоте 1,3 м. Нд, м – высота деревьев, м.
Notes: Ch – black poplar, TB – white poplar, Kl – American maple, B – small-leaved elm, I – three-staminate willow, C – common lilac, P – spirea gorodata, Sh – May rosehip, R – mountain ash, D – pedunculate oak, B – warty birch, H – bird cherry, Sk – prickly plum. D (1.3), cm is the average diameter of the stand, at a height of 1.3 m. Nd, m is the height of trees, m.

Дубняки (*Quercus robur* L.). Типичные дубовые сообщества на территории исследования нами не обнаружены. *Quercus robur* L встречается единично или входит в состав растительных сообществ с доминированием *Ulmus laevis* Pall.

В настоящее время в сообществах в большом количестве присутствует *Acer negundo* L., инвазионный вид, численность данного вида не регулируется, подрост не уничтожается, поэтому данный вид растений может изменить сообщество вязовника дубово-ландышевого в кленовик ландышевый. Для того чтобы это не произошло, необходимо проводить очистку леса от этой сорной породы для сохранения коренных видов.

Обсуждение. С каждым годом пойменные леса г. Оренбурга приобретают все большее рекреационное значение, являясь зоной массового отдыха жителей. Нередко вырубаются прибрежные леса и кустарники, что создает условия для возникновения почвенной эрозии. В результате рубок восстановление леса идет через смену древесных пород и затягивается на долгие годы [18, с. 18-19]. На сегодняшний день наблюдается трансгрессия инвазионных видов в пойменные леса, это также может быть связано и с потеплением климата. С усилением рекреационной активности, все чаще встречаются *Fraxinus pentalis* Marsh, *Acer negundo* L., *Lonicera tatarica* L. В связи увеличением антропогенного воздействия появились даже растительные сообщества с доминированием *Acer negundo* L. На

участках № 1, 2, 3 отмечены рудеральные виды растений: *Ambrosia trifida* L., *Urtica dioica* L., *U. urens* L., *Xanthium strumarium* L., *Cannabis ruderalis* Janisch., *Biden tripartite* L., *Shenopodium hybridum* L. и другие. По данным обследования территории, сорные растения составляют около 10% от общего количества видов растений, это является одним из признаков рекреационной дигрессии городского пойменного леса. В пойменном лесу на участке № 3 в результате ветровалов образовались окна (поляны), открытые лучам солнца. На них интенсивнее идет возобновление, быстрее развивается молодой подрост. Рекреационное использование пойменного леса в районе исследования показало, что на участках № 1, 2, 4 наблюдалась целевая и активная вырубка лесных массивов (таблица 2). Вырубка деревьев производилась, видимо, не правомерно, так как на деревьях не было пометок, порубочные останки не были вывезены.

Таблица 2 – Рекреационное использование пойменного леса в районе исследования
Table 2 – Recreational use of the floodplain forest in the study area

№ / site	Количество вырубленных деревьев / Number of trees cut down	Количество деревьев, поваленных ветром / Number of trees blown down by the wind	Количество сгнивших деревьев и кустарников / Number of rotted trees and shrubs	Бонитет / Bonitet
1	12±0,88*	3±0,44*	5±0,31*	3
2	8±0,57*	-	2±0,29*	3
3	4±0,64*	4±0,33*	7±0,16*	3
4	10±0,57**	2±0,33*	4±0,13*	3
5	1±0,28*	3±0,33*	6±0,26*	3
6	3±0,33*	-	3±0,16*	3

Примечание: * – $P \leq 0,01$; ** – $P \leq 0,05$

Note: * – $P \leq 0,01$; ** – $P \leq 0,05$

Работа по озеленению городов должна проводиться с учетом климатических условий, а также с учетом повышенной токсичности, загазованности, патогенных нарушений почвенного покрова и других неблагоприятных факторов. По данным наших исследований, для участков «Зауральная роща», «Дубки» расположенных в окрестностях города Оренбурга характерны типичные лесные сообщества для пойм степных рек Урала, Сакмары. Подобные исследования проводились в пойме реки Кубань на территории урочища «Красный Кут» [19]; в пойме осинового леса Среднего Прихоперья, где было обнаружено 193 вида сосудистых растений [20]; изучены уникальные лабазниково-вязолистные дубравы в окрестностях г. Брянска [21]. Это еще раз подчеркивает необходимость сохранения естественных лесных сообществ и организацию мониторинга для сохранения видового и фитоценологического разнообразия. С этой целью необходимо установить контроль за проведением санитарных рубок, уничтожающих типичные для данной территории лесобразующие породы, а также не допускать на вырубленных растительных сообществах высадку растений чуждых для пойменных лесов [5, 11].

Заключение. Для флоры исследуемого района характерны типичные лесные сообщества поймы степных рек. В районе исследования было отмечено 121 вид сосудистых растений, относящихся к 38 семействам и 99 родам. Самыми многочисленными семействами среди представителей травянистого яруса является: Asteraceae Dumort. (Compositae Giseke) – 27 видов; Rosaceae Adans. – 13 видов, Apiaceae Lindl. – 9 видов, Poaceae Barnh. – 9 видов, Fabaceae Lindl. – 7 видов.

На исследуемых участках выделен эколого-динамический ряд: ивняки (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L.) – ветловники (*S. alba* L.) – осокорники (*Populus nigra* L.) – белотопольники (*P. alba* L.) – вязовники (*Ulmus laevis* Pall.) с участием *Quercus robur* L.

В пределах данных формаций выделены семь основных, наиболее часто встречающихся ассоциаций: ивняки с преобладанием *Salix triandra* L., *S. viminalis* L., ветловник костречевый, ветловник ежевичный, осокорник ветловокостречевый, белотопольник вейниковый, вязовник ежевичный, вязовник дубово-ландышевый.

Таким образом, для сохранения естественных коренных лесных сообществ необходимо проведение постоянного мониторинга и природоохранных мероприятий по сохранению видового разнообразия и типичных растительных сообществ, характерных для поймы степных рек. В связи с чем, предлагаем создать на базе урочища «Зауральная роща» и «Дубки» парк-музей,

регионального значения, который позволит сохранить пойменные сообщества растений степных рек. С целью эколого-патриотического воспитания населения на территории парка-музея проложить учебно-туристические, экологические тропы и трассы, которые смогут осуществлять образовательную, воспитательную деятельность, сохранение отношения к природе своего города и края у населения. Лесные участки, наиболее часто посещаемые населением в рекреационных целях, должны быть рационально организованы, иметь сеть дорог, прогулочных маршрутов, на протяжении которых должны быть расставлены таблички с указанием названия растительных сообществ, преобладающих видов древесных и травянистых растений, мест отдыха и стоянок, с разрешением только санитарных рубок деревьев. В этом случае лесные участки в окрестностях г. Оренбурга смогут в должной мере выполнять свои водоохранные, эколого-воспитательные, санитарно-гигиенические и эстетические функции.

Conclusions. The flora of the study area is characterized by typical forest communities of the floodplain of steppe rivers. In the study area, 121 species of vascular plants belonging to 38 families and 99 genera were noted. The most numerous families among the representatives of the herbaceous layer are: Asteraceae Dumort. (Compositae Giseke) – 27 species; Rosaceae Adans. – 13 species, Apiaceae Lindl. – 9 species, Poaceae Barnh. – 9 species, Fabaceae Lindl. – 7 species.

In the studied areas, an ecological-dynamic series was identified: willows (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L.) – willows (*S. alba* L.) – sedges (*Populus nigra* L.) – white poplars (*P. alba* L.) – elms (*Ulmus laevis* Pall.) with the participation of *Quercus robur* L.

Within these formations, seven main and most common associations have been identified: willows with a predominance of *Salix triandra* L., *S. viminalis* L., brome wetweed, blackberry wetweed, sedgeweed, reed poplar, blackberry elm, oak-lily-of-the-valley elm.

Thus, in order to preserve natural indigenous forest communities, it is necessary to carry out constant monitoring and conservation measures to preserve the species diversity and typical plant community's characteristic of the floodplain of steppe rivers. In this regard, we propose to create a park-museum of regional significance on the basis of the tract "Zauralnaya Roshcha" and "Dubki", which will preserve floodplain communities of plants of steppe rivers. For the purpose of ecological and patriotic education of the population on the territory of the park-museum, to lay educational and tourist, ecological trails and trails that will be able to carry out educational, educational activities, preserve the attitude of the population to the nature of their city and region. Forest areas most frequently visited by the population for recreational purposes should be rationally organized, have a network of roads, walking routes, along which signs should be placed indicating the names of plant communities, predominant species of woody and herbaceous plants, places of rest and camping, with permission only for sanitary felling of trees. In this case, forest areas in the vicinity of Orenburg will be able to properly perform their water protection, environmental educational, sanitary, hygienic and aesthetic functions.

Библиографический список

1. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Основы лесной биogeоценологии. М.: Изд. АН СССР, 1964. 212 с.
2. Капитонова Т. А., Крупнова Т. Г., Тихонова С. А., Стручкова Г. П., Ракова О. В. Оценка обеспеченности зелеными насаждениями городской промышленной зоны Челябинска с использованием изображений LANDSAT. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2023. Т. 1. С. 93-102.
3. Зенгина Т. Ю., Пакина А. А., Муканова Н. Н. Геоинформационный анализ изменения показателей фрагментированности городских лесов Алматы. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. № 28 (1). С. 204-218.
4. Данчева А. В. Структура и состояние живого напочвенного покрова сосновых насаждений Экопарка "Затюменский" г. Тюмень. Вестник ИРГСХА. 2022. № 113. С. 33-47.
5. Украинский П. А. Изменение формы лесов на Среднерусской возвышенности в субмеридиональном направлении (количественное описание на основе ландшафтных метрик). Интеркарто. Интергис. 2022. № 28 (1). С. 471-479.
6. Hegetschweiler T. K., Wartmann F. M., Dubernet J., Fischer C., Hunziker M. Urban forest usage and perception of ecosystem services – A comparison between teenagers and adults. Urban Forestry & Urban Greening. 2022. No 74. P. 127624.
7. Bernetti I., Chirici G., Sacchelli S. Big data and evaluation of cultural ecosystem services: an analysis based on geotagged photographs from social media in Tuscan forest (Italy). Iforest-Biogeoosci. For. 2019. V. 12. P. 98105.
8. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: СП 42.13330. 2011. Москва, АО «Кодекс». 52 с.
9. Об утверждении лесоустроительной инструкции: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 5 августа 2022 г. N 510. М.: СтандартИнфо, 2022. 23 с.
10. Раменский Л. В. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 335 с.
11. Земли рекреационного назначения. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 24.06.2023). Москва: АО «Кодекс», 2023. С. 98.

12. Шенников А. П. Луговедение. Ленинград: Наука, 1941. 233 с.
13. Работнов Т. А. Экспериментальная фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1998. 240 с.
14. Раменский Л. Г. Проблемы классификации и экологического изучения почв в геоботанической перспективе. Бюллетень почвовед. 1926. С. 18-20; 24-25.
15. Грибова С. А., Исаченко Т. И., Лавренко Е. М. Растительность Европейской части СССР. Ленинград: Наука, 1980. 429 с.
16. Рябинина З. Н., Князев М. С. Определитель сосудистых растений Оренбургской области. М.: Тов. Науч. изд.-во КМК, 2009. 758 с.
17. Рябинина З. Н., Мушинская Н. И., Дорохина О. А. Эколого-флористический анализ пойменных лесов Оренбургского градопромышленного комплекса. Экология природопользование: прикладные аспекты: материалы VII Международной научно-практической конференции. 2017. С. 275-279.
18. Аненхоннов О. А. Растительность лесостепных ландшафтов Бурятии: эколого-фитоценологическая оценка и особенности гидротермики ее местообитаний. IV Всероссийская конференция с международным участием. Улан-Удэ, 2021. С. 25-27.
19. Примаков Н. В. Состояние и обустройство пойменных лесных экосистем города Краснодара. Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 207-211.
20. Шапилова А. А. Эколого-флористическая характеристика осинового леса Среднего Прихоперья. Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 110-летию Саратовского университета и 25-летию Воронинского государственного природного заповедника. Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, 2019. С. 252-254.
21. Малежик Е. Е., Анищенко Л. Н. Показатели биоразнообразия городских лесов Брянска (Нечерноземье РФ). Геоэкологические проблемы современности и пути их решения: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 41-49.
22. Сукачев В. Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1972. Т. 1. 418 с.

References

1. Sukachev V. N., Zonn S. V. Fundamentals of forest biogeocenology. Moscow: Izd. Academy of Sciences of the USSR, 1964. 212 p.
2. Kapitonova T. A., Krupnova T. G., Tikhonova S. A., Struchkova G. P., Rakova O. V. Assessment of the provision of green spaces in the urban industrial zone of Chelyabinsk using LANDSAT images. Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2023. V. 1. Pp. 93-102.
3. Zengina T. Yu., Pakina A. A., Mukanova N. N. Geoinformation Analysis of Changes in the Indicators of Fragmentation of Urban Forests in Almaty. InterCarto. InterGIS. 2022. № 28 (1). Pp. 204-218.
4. Dancheva A. V. Structure and state of the living ground cover of pine plantations in the Ecopark "Zatyumensky", Tyumen. Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy. 2022. № 113. Pp. 33-47.
5. Ukrainskii P. A. Changes in the shape of forests in the Central Russian Upland in the submeridional direction. Interkarto. Intergis. 2022. No 28 (1). С. 471-479.
6. Hegetschweiler T. K., Wartmann F. M., Dubernet I., Fischer C., Hunziker M. Urban forest usage and perception of ecosystem services – A comparison between teenagers and adults. Urban Forestry & Urban Greening. 2022. No 74. P. 127624.
7. Bernetti I., Chirici G., Sacchelli S. Big data and evaluation of cultural ecosystem services: an analysis based on geotagged photographs from social media in Tuscan forest (Italy). Iforest-Biogeosci. For. 2019. V. 12. P. 98105.
8. Code of Rules. Town planning. Planning and development of urban and rural settlements: SP 42.13330. 2011. Moscow, 52 p.
9. On approval of forest management instructions: order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated August 5, 2022 N 510. Moscow, StandartInfo Publ., 2022. 23 p.
10. Ramensky L. V. Problems and methods of studying vegetation cover. Leningrad, Nauka Publ., 1971. 335 p.
11. Recreational land. Land Code of the Russian Federation dated 25.10.2001 No. 136-FZ (as amended on 24.06.2023). Moscow: AO Kodeks, 2023. Art. 98.
12. Shennikov A. P. Meadow Studies. Leningrad, Nauka Publ., 1941. 233 p.
13. Rabotnov T. A. Experimental Phytocenology. Moscow, Moscow State University Publ., 1998. 240 p.
14. Ramensky L. G. Problems of classification and ecological study of soils in geobotanical perspective. Soil Science Bulletin. 1926. Pp. 18-20; 24-25.
15. Gribova S. A., Isachenko T. I., Lavrenko E. M. Vegetation of the European Part of the USSR. Leningrad, Nauka Publ., 1980. 429 p.
16. Ryabinina Z. N., Knyazev M. S. Identification of vascular plants of the Orenburg region. Moscow: Tov. Scientific. KMK Publ., 2009. 758 p.
17. Ryabinina Z. N., Mushinskaya N. I., Dorokhina O. A. Ecological and floristic analysis of floodplain forests of the Orenburg urban industrial complex. Ecology of Nature Management: Applied Aspects: Materials of the VII International Scientific and Practical Conference. 2017. Pp. 275-279.
18. Anenkhonov O. A. Vegetation of forest-steppe landscapes of Buryatia: ecological and phytocenotic assessment and features of hydrothermics of its habitats. IV All-Russian Conference with International Participation. Ulan-Ude, 2021. Pp. 25-27.
19. Primakov N. V. State and Arrangement of Floodplain Forest Ecosystems of the City of Krasnodar. Economic aspects of the development of the agro-industrial complex and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: Materials of the International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 207-211.

20. Shapilova A. A. Ecological and floristic characteristics of aspen forests of the Middle Kholer region. Biodiversity and Anthropogenic Transformation of Natural Ecosystems: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to the 110th Anniversary of Saratov University and the 25th Anniversary of the Voroninsky State Nature Reserve. Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, 2019. Pp. 252-254.

21. Malezhik E. E., Anishchenko L. M. Indicators of biodiversity of urban forests in Bryansk (Non-Black Earth Region of the Russian Federation). Geoeological problems of modernity and ways to solve them: materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference. 2019. P. 41-49.

22. Sukachev V. N. Fundamentals of forest typology and biogeocenology. Leningrad: Nauka. Leningrad Branch, 1972. V. 1. 418 p.

Информация об авторах

Васильева Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, Учёный секретарь Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), ORCID ID № 0000-0002-5469-3952, e-mail: vtn1972@mail.ru

Иванова Елена Алексеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), ORCID ID № 0009-0009-9260-4955, e-mail: biaeelena201273@gmail.com

Рябинина Зинаида Николаевна, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), ORCID ID № 0000-0001-9416-9218, e-mail: orengreen1@yandex.ru

Author's Information

Vasilyeva Tatyana Nikolaevna, Candidate of Biological Sciences, Scientific Secretary of the Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya Street, 29), ORCID ID № 0000-0002-5469-3952, e-mail: vtn1972@mail.ru

Ivanova Elena Alekseevna, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya Street, 29), ORCID ID № 0009-0009-9260-4955, e-mail: biaeelena201273@gmail.com

Ryabinina Zinaida Nikolaevna, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher of the Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya Street, 29), ORCID ID № 0000-0001-9416-9218, e-mail: orengreen1@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-09

SELECTION OF TOMATO VARIETIES OF THE INSTITUTE'S SELECTION FOR RHYTHMIC SUPPLY OF FRESH PRODUCE TO THE MARKET

Gulin A. V., Kigashpayeva O. P., Machulkina V. A., Volodina S. A.

*Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
«Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
Kamyzyak, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vniioob@mail.ru

Received 20.02.2024

Submitted 22.04.2024

The research was carried out within the framework of the state task on the topic №. FNMW-2022-0013 "To create lines, varieties, hybrids of vegetable, melon and industrial crops with a given set of economically valuable features and to improve the elements of zonal agrotechnologies of their cultivation in irrigated conditions of the Lower Volga region" (Reg. no. 1021060307591-3-4.1.1) budget financing programs for 2022-2024 Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Abstract

Introduction. With the expansion of economic sanctions against Russia, an important task is to utilize the potential of domestic varieties of vegetable crops in ensuring the stability of agricultural production. Favorable climatic conditions and irrigated lands of the Astrakhan region allow obtaining high yields, including tomatoes, with different harvest dates. **The purpose** of this work is to study the groups of tomato varieties of VNIIOOB selection and to select in accordance with the requirements for long-term provision of products. The presented work will allow developing conveyor arrival of tomato crop, which will lengthen the supply of fresh products to the markets of the country. The task was set: to study new varieties of different ripening dates, suitable for the creation of conveyor delivery of fresh tomatoes. **Novelty** – for the first time new tomato varieties with different ripening dates were studied in order to create a conveyor belt harvest on their basis. **Materials and methods.** The research was carried out in 2022-2023 in VNIIOOB – branch of FGBNU "PAFNTs RAS" according to the methods and technologies adopted in the region. The objects of study were 9 tomato varieties of VNIIOOB selection, differing in shape, size, color and ripening time of fruits. **Results and conclusions.** On the basis of the obtained study data we selected varieties for obtaining early

harvest – Aran 735, Forward and Orange Auri with vegetation period from 92 to 110 days from mass sprouting to the beginning of ripening. Continued receipt of fresh fruits grown in the open ground is possible with the use of varieties with medium-early maturity from 110 to 115 days – these varieties Bulldog, Avdeyevsky, Raspberry Ball, Torpedo, Malinovka. For further prolongation of the harvest and providing the local population with fresh fruits, the variety Khors, whose vegetation period is 120-125 days, is suitable. For conveyor delivery of fruits for a long period of time it is necessary to grow varieties with different ripening dates: early-ripening, mid-early and late-ripening.

Keywords: *tomato varieties, tomato ripening dates, conveyor arrival of vegetable products.*

Citation. Gulin A. V., Kigashpaeva O. P., Machulкина V.A., Volodina S. A. Selection of tomato varieties of the institute's selection for rhythmic supply of fresh produce to the market. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 81-88 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-09.

Author's contribution. All authors of this research 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 submitted.

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

УДК 635.64:631.52

ПОДБОР СОРТОВ ТОМАТОВ СЕЛЕКЦИИ ИНСТИТУТА ДЛЯ РИТМИЧНОГО СНАБЖЕНИЯ РЫНКА СВЕЖЕЙ ПРОДУКЦИЕЙ

Гулин А. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Кигашпаева О. П., кандидат сельскохозяйственных наук
Мачулкина В. А., доктор сельскохозяйственных наук
Володина С. А., младший научный сотрудник

ВНИИООБ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»
г. Камызяк, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения госзадания по теме No FNMW-2022-0013 «Создать линии, сорта, гибриды овощных, бахчевых и технических культур с заданным набором хозяйственно ценных признаков и усовершенствовать элементы зональных агротехнологий их возделывания в орошаемых условиях Нижнего Поволжья» (Рег. № 1021060307591-3-4.1.1) программы бюджетного финансирования на 2022-2024 гг. Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Аннотация. С расширением экономических санкций против России важной задачей является использование потенциала отечественных сортов овощных культур в обеспечении стабильности сельскохозяйственного производства. Благоприятные климатические условия и орошаемые земли Астраханской области позволяют получать высокие урожаи, в том числе томатов, с разным сроком поступления урожая. **Цель** данной работы – изучить группы сортов томата селекции ВНИИООБ и подобрать в соответствии с требованиями по длительному обеспечению продукцией. **Актуальность.** Представленная работа позволит разработать конвейерное поступление урожая томата, что удлинит поставки свежей продукции на рынки страны. Ставилась **задача:** изучить новые сорта разного срока созревания, пригодные для создания конвейерного поступления урожая свежих томатов. **Новизна** – впервые были изучены новые сорта томатов, различные по срокам созревания для создания на их основе конвейерного поступления урожая. **Материалы и методы.** Исследования проводились в 2022-2023 годах во ВНИИООБ – филиале ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» согласно методикам и технологиям, принятым в регионе. Объектами изучения были 9 сортов томата селекции ВНИИООБ, различающиеся формой, размером, окраской и сроками созревания плодов. **Результаты.** На основе полученных данных изучения были подобраны сорта для получения раннего урожая – Аран 735, Форвард и Оранжевый Авори с вегетационным периодом от 92 до 110 суток от массовых всходов до начала созревания. Продолжение поступления свежих плодов, выращенных в открытом грунте, возможно при использовании сортов со среднеранним сроком созревания от 110 до 115 суток – это сорта Бульдог, Авдеевский, Малиновый шар, Торпеда, Малиновка. Для дальнейшего продления сроков поступления урожая и обеспечения местного населения свежими плодами подходит сорт Хорс, вегетационный период которого 120-125 суток. **Выводы.** Для конвейерного поступления плодов в течение длительного периода необходимо выращивать сорта, различные по сроку созревания: раннеспелые, среднеранние и позднеспелые.

Ключевые слова: *сорта томатов, сроки созревания томатов, конвейерное поступление овощной продукции.*

Цитирование. Гулин А. В., Кигашпаева О. П., Мачулкина В. А., Володина С. А. Подбор сортов томатов селекции института для ритмичного снабжения рынка свежей продукцией. *Известия НВ АУК*. 2024. 2(74). 81-88. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-09.

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.

Введение. Одно из важнейших звеньев развития территории Астраханской области – агропромышленный комплекс, который является ключевым элементом социально-экономического развития региона. Современное агропромышленное производство области представляет собой многоукладную сельскую экономику, включающую в себя как крупные хозяйственные объекты, так и малые формы хозяйствования. Агропромышленный комплекс области сохраняет ведущие позиции в экономике региона и доказательство тому – опережающие темпы роста валовой продукции, в том числе томатов. Астраханская область, являясь одним из крупнейших поставщиков овощебахчевой продукции, имеет серьёзные перспективы на дальнейшее наращивание объемов производства растениеводческой продукции, в том числе томатов, для ритмичного снабжения рынков свежей продукцией. В структуре посевных площадей, учитывая специфику региона, около 60% занимают овощебахчевые культуры и картофель [1]. Целью Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, утвержденной постановлением правительства Российской Федерации за № 996, является обеспечение стабильного роста производства и ритмичного снабжения населения сельскохозяйственной продукцией, полученной за счет сортов томатов различного срока созревания [2, 3].

Благоприятные почвенно-климатические условия и орошаемые земли Астраханской области позволяют широко развивать производство томатов. Большое значение при этом имеет подбор сортов. Как считают многие исследователи, при подборе скороспелых сортов томата особое внимание необходимо обращать не только на срок начала созревания плодов, но и на урожайность к определенной дате (после которой резко снижаются заготовительные цены на продукцию), транспортабельность плодов и их общую продуктивность [4, 5, 6].

По данным ряда исследователей ультраскороспелые сорта, возделываемые в северных районах, малопродуктивны на юге, так как высокая интенсивность солнечного света и температура вызывают у сортов северного происхождения ускоренное старение и отмирание растений [7]. Поэтому правильно подобранные сорта, соответствующие данному климатическому поясу, являются залогом ритмичного поступления продукции как на рынок, так и на предприятия перерабатывающей промышленности. Это является одним из инструментов регулирования рационального использования земли, климатических, материально-технических и трудовых ресурсов [8, 9, 10].

Как известно, доходность ранних овощей во многом зависит от того, какое количество овощей произведено и реализовано в ранние сроки. Поэтому, как считают производители, раннюю продукцию целесообразно вывозить в свежем виде в северные районы и промышленные центры страны [11, 12].

Помимо поступления на рынок большое значение имеет поставка продукции на перерабатывающие предприятия. Как и для рынка, большое значение имеют сроки поставки, поэтому подбор сортов разных сроков созревания позволяет создать конвейерное поступление урожая, что значительно повышает рентабельность их производства [13].

Как уже отмечалось выше, для ритмичного поступления урожая необходим подбор сортов как по степени зрелости, так и по урожайности так, чтобы при производимых затратах на выращивание, сбор урожая и реализацию продукции её себестоимость не была убыточной [14]. В настоящее время в производство томатов для консервной промышленности внедряется интенсивная технология, которая предъявляет к сортам, помимо урожайности, другие требования – это дружность формирования и созревания урожая, плоды должны обладать необходимыми физико-механическими свойствами, иметь запас прочности к ударным и статистическим нагрузкам, к проколам, быть устойчивыми к растрескиванию [15, 16].

Перед сотрудниками института была поставлена задача изучить новые сорта томатов селекции ВНИИООБ разного срока созревания для создания конвейерного поступления урожая как на рынки, так и для консервной промышленности.

Цель работы – дать оценку новым сортам томатов по срокам созревания для создания ритмичного поступления урожая.

Новизна работы – впервые изучались новые сорта томатов селекции ВНИИООБ для ритмичного снабжения рынка свежими томатами.

Актуальность. Правильно подобранный ассортимент с высокой стандартностью урожая и хорошими технологическими показателями плодов позволит регулировать поступление урожая в течение длительного времени и снизить себестоимость производимой продукции.

Материалы и методы. Для изучения ритмичности поступления готовой продукции в торговую сеть были взяты следующие сорта: раннего срока созревания – Аран 735 с округло-плоской и Форвард со сливовидно-овальной формой плода; среднеранние сорта с крупными плодами: Бульдог, Авдеевский, Малиновый шар, среднепоздний Хорс. Сорта со сливовидными плодами: Торпеда, Малиновка и Оранжевый Авюри. Все вышеуказанные сорта допущены к использованию сортовой агротехники выращивания и семеноводства в условиях Астраханской области при капельном поливе.

Характеристика сортов: Аран 735 – раннеспелый, от всходов до начала созревания 95-100 дней, высота куста 55-75 см, масса плода 70-80 г; Форвард – раннеспелый (98-102 дня), высотой 55-75 см, масса плода 65-90 г; Торпеда – среднеспелый (105-110 дней), высота куста 45-55 см, плод цилиндрической формы массой 90-110 г; Малиновка – среднеспелый, от всходов до начала созревания (103-111 дней), высота куста 60-70 см, масса плода 50-70 г; Оранжевый Авюри – среднеспелый, от всходов до начала созревания (105-112 дней), высота растения 65-75 см, масса плода 80-100 г; Бульдог – среднеспелый (110-115 дней), высота куста 70-90 см с округлой формой плода, массой 250-300 г; Авдеевский – среднеспелый (110-115 дней), куст высотой 75-90 см, плод округлой формы массой 200-250 г; Малиновый шар – среднеспелый (110-115 дней), высота растения 60-70 см, плод округлой формы массой 150-200 г; Хорс – высота куста 65-72 см, плод округлой формы массой 160-180 г. В отличие от всех сортов сорт Хорс более позднего срока созревания – 120-125 суток от всходов до начала созревания.

Томаты выращивались в открытом грунте на опытном поле ВНИИООБ – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», расположенном в г. Камызяк Астраханской области. Почвы участка аллювиально-луговые, среднесоленые, с содержанием гумуса, в зависимости от горизонта, от 3,8 до 1,7%, содержание легкогидролизуемого азота по мере увеличения горизонта колебалось от 61,4 мг/100 г до 95,1 мг/100 г. Количество фосфора снижалось по мере увеличения горизонта и варьировало от 54,5 мг/100 г (горизонт 20-27 см) до 35,2 мг/100 г (горизонт 56-82 см). Обратная зависимость наблюдалась с содержанием калия. С увеличением горизонта количество его увеличивалось от 168 до 227 мг/100 г.

Повторность опыта – трехкратная. Площадь опытной делянки 29,4 м², учетной 14 м². В период роста и развития растений проводили следующие учеты: фенологические, биометрические, поражение растений и плодов болезнями и вредителями и учет урожая. Фенологические наблюдения проводили в соответствии с методикой Госсортиспытания сельскохозяйственных культур и методикой полевых опытов с овощными культурами. Биометрические измерения проводили через каждые 10 суток после высадки растений в открытый грунт. Поражение растений и плодов болезнями и вредителями оценивали по пятибалльной шкале, где:

- 0 – отсутствие поражения;
- 1 – поражено 10-25% растений;
- 2 – поражено 26-50% растений;
- 3 – поражено 51-75% растений;
- 4 – поражено более 75% растений.

Урожай учитывали весовым способом. Качество убранных плодов оценивали согласно ГОСТ 34298-2017 Томаты свежие. Технические условия.

Сроки полива назначали при наступлении минимального порога влажности активного слоя почвы. Запасы воды в почве рассчитывали по формуле:

$$M = 100 \cdot H \cdot A \cdot B,$$

где M – запас воды, $\text{м}^3/\text{га}$;

H – глубина слоя почвы, в которой определяли запас влаги, м ;

A – объемная масса, $\text{т}/\text{м}^3$;

B – влажность почвы в процентах, вычисленная на абсолютно сухую почву.

Запас продуктивной влаги определяли по формуле:

$$B_{\text{прод.}} = \frac{P \cdot O \cdot T}{10},$$

где $B_{\text{прод.}}$ – продуктивная влага в учитываемом слое почвы, см ;

P – процент продуктивной доступной влаги для растений;

O – объемный вес исследуемого слоя почвы, $\text{т}/\text{см}^3$;

T – толщина слоя почвы, см .

Величину нормы полива выявляли из зависимости:

$$m = 100 \cdot H \cdot A (B - B_1),$$

где m – поливная норма, $\text{м}^3/\text{га}$;

H – глубина, на которую рассчитывается поливная норма, м ;

A – объемная масса почвы;

B – поливная влажность в процентах на абсолютно сухую почву, %;

B_1 – влажность почвы перед поливом, %.

Оросительная норма рассчитывалась путем суммирования всех поливных норм за период вегетации.

Результаты и обсуждение. Для обеспечения конвейерного поступления урожая томатов нами были изучены сорта с различной формой и размером плодов. Более раннее поступление урожая отмечено у сортов Аран 735 и Форвард. Сорта отличаются высотой куста, она варьирует от 35 до 90 см (Аран 735) до 55-75 см (Форвард). Наиболее раннее поступление урожая, в зависимости от условий года, отмечено у сорта Форвард: от 3 до 10 дней, по сравнению с сортом Аран 735. Средний вес плода колебался от 70 до 110 г. Общая урожайность у сортов с ранним сроком созревания довольно высокая – от 38 до 45 т/га. Плоды ранних сортов, в основном, реализуются в торговые сети, как по месту выращивания, так и для вывоза в северные районы и промышленные центры страны. Второй этап подбора сортов – это снабжение торговой сети и предприятий перерабатывающей промышленности и поэтому к среднеспелым сортам, отличающимся высокой пищевой ценностью, предъявляются более высокие требования. Они должны быть высокоурожайными, с хорошей сохранностью и устойчивостью к растрескиванию плодов. Как показали проведенные исследования, к таким сортам можно отнести сорта томата Бульдог, Авдеевский, Малиновый шар. Эти сорта среднеранние, период от всходов до созревания, в зависимости от условий года, у них колеблется от 110 до 115 дней. Плоды у них крупные, масса составляет от 150 до 300 г. Отличаются высокой урожайностью, которая, в зависимости от сорта, составляет от 80 до 100 т/га. Все сорта отличаются плотной кожицей и сочной мякотью, устойчивы к растрескиванию и способны сохранять качество при транспортировке.

Для обеспечения продукцией в этот период консервной промышленности также были изучены сорта Торпеда и Оранжевый Авюри и Малиновка, пригодные для цельноплодного консервирования. По вегетационному периоду их можно разделить на более ранние – Оранжевый Авюри (98-110 суток от всходов до созревания) и среднеранние – Торпеда и Малиновка. Эти сорта пригодны, как для употребления в свежем виде, для переработки, а также для транспортировки, обладают урожайностью от 50 до 65 т/га, привлекательным видом плодов, устойчивостью к растрескиванию.

При конвейерном поступлении урожая, наряду с производством ранних и среднеранних сортов, важное значение имеет и выращивание сортов томатов в более поздние сроки созревания с целью продления потребления свежих плодов местным населением и, частично, на вывоз за пределы области. Одним из таких является сорт Хорс. Вегетационный период его составляет от массовых всходов до начала сбора 120-125 дней. Сорт отличается высокой урожайностью, красивыми крупными округлыми плодами желтой окраски массой от 160 до 180 г (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика сортов томата для конвейерного поступления урожая

Table 1 – Characterization of tomato varieties for conveyor crop arrival

Сорт / Sort	Высота куста, см / Height of the bush, cm	Вегетационный период, сутки / Vegetation period, day	Форма плода / Fruit shape	Средний вес плода, г / Average fetal weight, g	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
Плоды раннего срока созревания / Early ripening fruits					
Аран 735 / Aran 735	35-90	95-110	Плоскоокруглая / Plano-rounded	80-100	43-45
Форвард / Forward	55-75	92-100	сливовидно-овальная / plum-oval	70-80	38-40
Среднераннего / Mid-Early					
Бультдог / Bulldog	70-80	110-115	Округлая / Rounded	250-300	80-90
Авдеевский / Avdeevskii	75-90	110-115	Округлая / Rounded	200-250	85-92
Малиновый шар / Malinovyi shar	60-70	110-115	Округлая / Rounded	150-200	85-100
Торпеда / Torpeda	50-60	105-100	Цилиндрическая / Cylindrical	90-110	60-65
Малиновка / Malinovka	50-70	100-112	Сливовидная / Plum	70-90	50-55
Оранжевый Авюри / Orangevui Avyuri	60-70	98-110	овально-сливовидная / oval-plum	100	50-60
Среднего / middle					
Хорс / Hors	65-72	120-125	Округлая / Rounded	160-180	65-70

Выводы. Таким образом, анализируя полученные данные результатов изучения новых сортов томата с разным вегетационным периодом, можно правильно подобрать сортимент сортов с высокой стандартностью урожая и хорошими технологическими показателями плодов, что позволит регулировать поступление урожая в течение длительного времени. Подобранные нами сорта отличаются различным вегетационным периодом, который колеблется у ранних сортов от 92 до 110 суток и урожайностью от 38 до 45 т/га, а среднеранние вступают в плодоношение в более поздние сроки с более длительным вегетационным периодом. И средний по сроку созревания сорт Хорс (120-125 суток вегетационного периода) тоже создает возможность поступления урожая в течение более длительного времени.

Conclusions. Thus, by analyzing the data obtained from the results of the study of new tomato varieties with different growing seasons, it is possible to correctly select the assortment of varieties with high yield standardization and good technological indicators of fruits, which will allow you to regulate the yield for a long time. The varieties we have selected are distinguished by different vegetation periods, which range from 92 to 110 days for early varieties and yields from 38 to 45 t/ha, while medium-early varieties begin fruiting at a later date with a longer growing season. And the medium ripening variety Hors (120-125 days of the growing season) also creates the possibility of harvesting for a longer time.

Библиографический список

1. Астраханская область в цифрах: краткий статистический сборник Астраханьстат. Астрахань, 2020. С. 43-45.
2. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, утвержденная постановлением правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. за № 996.
3. Иванова В. Н., Серегин С. Н. О проекте стратегии развития АПК России на период до 2030 года. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2018. № 7. С. 2-7.
4. Гиш Р. Х. О практических результатах исследований по созданию новых сортов томата. Allbest. ru, 2017.
5. Авдеев А. Ю., Кигашпаева О. П., Джабраилова В. Ю., Сисенгалиева С. Т. Оригинальные фенотипические проявления окраски плодов томата. Вестник Алтайского ГАУ. 2020. № 1 (183). С. 5-10.
6. Гиш Р. А. Новые и перспективные сорта томата отечественной селекции. Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Краснодар. С. 267-269.

7. Максимов С. В., Беков Р. Х. Практические результаты сотрудничества в селекции томата. Картофель и овощи. 2022. № 12. С. 17-19.
8. Кигашпаева О. П., Гулин А. В. Перспективные салатные сорта томата для юга России. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 2 (66). С. 101-110.
9. Кигашпаева О. П., Гулин А. В., Капанова Р. Х., Володина С. А. Результаты и перспективы астраханской селекции овощных и бахчевых культур. Овощи России. 2021. № 5. С. 16-21.
10. Мачулкина В. А., Санникова Т. А. Конвейерное поступление томатов на рынке. Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия культурных растений: материалы XI международной научно-методической конференции. Махачкала: ГНУ Дагестанский НИИСХ, 2014. С. 141-143.
11. Байрамбеков Ш. Б., Гарьянова Е. Д. Целевой подбор оригинальных сортов томатов для выращивания в Астраханской области. Элементы технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях орошения: сборник трудов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 26-28.
12. Авдеев А. Ю., Кигашпаева О. П., Джабраилова В. Ю. Селекция томата для импортозамещения в аридной зоне юга России. Орошаемое земледелие. 2016. № 3. С. 9-10.
13. Авдеев А. Ю., Кигашпаева О. П., Джабраилова В. Ю. Новые сорта томата для успешного развития отрасли овощеводства. Овощеводство и бахчеводство открытого грунта: проблемы и перспективы развития: материалы международного научно-практического семинара. 2016. С. 41-46.
14. Беков Р. Х., Максимов С. В., Костенко А. Н. Новый гетерозисный гибрид томатов. Картофель и овощи. 2019. С. 34-35.
15. Гулин А. В., Кигашпаева О. П., Капанова Р. Х., Володина С. А. Результаты и перспективы астраханской селекции овощных и бахчевых культур. Овощи России. 2021. № 5. С. 16-21.
16. Авдеев А. Ю., Кигашпаева О. П., Джабраилова В. Ю., Сисенгалиева С. Т. Сорта томатов селекции ВНИИОБ. Картофель и овощи. 2018. № 10. С. 33-35.
17. Анишко М. Ю. Повышение дружности созревания плодов томатов. Вестник Курской государственной академии. 2019. С. 48-53.

References

1. Astrakhan Region in Figures: A Brief Statistical Collection Astrakhanstat. Astrakhan, 2020. Pp. 43-45.
2. Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2030, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated August 25. 2017. No 996.
3. Ivanova V. N., Seregin S. N. On the Draft Strategy for the Development of the Agro-Industrial Complex of Russia for the Period up to 2030. Economics of Agricultural and Processing Enterprises. 2018. № 7. Pp. 2-7.
4. Gish R. Kh. On the Practical Results of Research on the Creation of New Tomato Varieties. Allbest. ru. 2017.
5. Avdeev A. Yu., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Yu., Sisengaliyeva S. T. Original phenotypic manifestations of tomato fruit coloring. Proceedings of Altaiskii SAU. 2020. № 1 (183). Pp. 5-10.
6. Gish R. A. New and Promising Tomato Varieties of Domestic Breeding. Scientific support of the agro-industrial complex. Krasnodar. Pp. 267-269.
7. Maksimov S. V., Bekov R. Kh. Practical Results of Cooperation in Tomato Breeding. Potatoes and vegetables. 2022. № 12. Pp. 17-19.
8. Kigashpaeva O. P., Gulina A. V. Perspective Salad Tomato Varieties for the South of Russia. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex. 2022. № 2 (66). Pp. 101-110.
9. Kigashpaeva O. P., Gulina A. V., Kapanova R. Kh., Volodina S. A. Results and Prospects of Astrakhan Selection of Vegetable and Melon Crops. Vegetables of Russia. 2021. № 5. Pp. 16-21.
10. Machulkina V. A., Sannikova T. A. Conveyor Arrival of Tomatoes in the Market. Introduction, Conservation and Use of Biological Diversity of Cultivated Plants: Proceedings of the XI International Scientific and Methodological Conference. Makhachkala: State Scientific Institution Dagestan Research Institute of Agriculture, 2014. Pp. 141-143.
11. Bayrambekov Sh. B., Garyanova E. D. Target Selection of Original Tomato Varieties for Cultivation in the Astrakhan Region. Elements of Agricultural Crops Cultivation Technology in Irrigation Conditions: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2016. Pp. 26-28.
12. Avdeev A. Yu., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Y. Tomato Breeding for Import Substitution in the Arid Zone of the South of Russia. Irrigated agriculture. 2016. № 3. Pp. 9-10.
13. Avdeev A. Yu., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Y. New tomato varieties for the successful development of the vegetable growing industry. Vegetable growing and melon growing of open ground: problems and prospects of development: materials of the international scientific and practical seminar. 2016. Pp. 41-46.
14. Bekov R. Kh., Maksimov S. V., Kostenko A. N. New Heterosis Tomato Hybrid. Potatoes and vegetables. 2019. Pp. 34-35.
15. Gulina A. V., Kigashpaeva O. P., Kapanova R. Kh., Volodina S. A. Results and Prospects of Astrakhan Selection of Vegetable and Melon Crops. Vegetables of Russia. 2021. № 5. Pp. 16-21.
16. Avdeev A. Yu., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Yu., Sisengaliyeva S. T. Tomato varieties bred by VNIIOOB. Potatoes and vegetables. 2018. № 10. Pp. 33-35.
17. Anishko M. Y. Improving the Friendliness of Tomato Fruit Ripening. Bulletin of the Kursk State Academy. 2019. Pp. 48-53.

Информация об авторах

Гулин Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, директор ВНИИОБ – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, д. 16), ORCID 0000-0001-6000-5311, e-mail: vniioob@mail.ru

Кигашпаева Ольга Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом селекции и семеноводства ВНИИООб – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, д. 16), ORCID 0000-0003-4578-6177, e-mail: vniiob@mail.ru

Мачулкина Вера Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ВНИИООб – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, д. 16), ORCID 0000-0002-9051-6371, e-mail: vniiob@mail.ru

Володина Светлана Александровна, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ВНИИООб – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, д. 16), e-mail: vniiob@mail.ru

Author's information

Gulin Aleksander Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Director of VNIIOOB – branch of FSBSI "PAFSC RAS" (Russian Federation, 416341, Kamzyyak, Lubicha str., 16), ORCID 0000-0001-6000-5311, e-mail: vniiob@mail.ru

Kigashpaeva Olga Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Breeding and Seed Production of VNIIOOB – branch of FSBSI "PAFSC RAS" (Russian Federation, 416341, Kamzyyak, Lubicha str., 16), ORCID 0000-0003-4578-6177, e-mail: vniiob@mail.ru

Machulkina Vera Aleksandrovna, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the department of breeding and seed production of VNIIOOB – branch of FSBSI "PAFSC RAS" (Russian Federation, 416341, Kamzyyak, Lubicha str., 16), ORCID 0000-0002-9051-6371, e-mail: vniiob@mail.ru

Volodina Svetlana Aleksandrovna, Junior researcher of the department of breeding and seed production of VNIIOOB – branch of FSBSI "PAFSC RAS" (Russian Federation, 416341, Kamzyyak, Lubicha str., 16), ORCID 0000-0002-9208-1164, e-mail: vniiob@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-10

THE EFFECT OF FERTILIZATION ON THE DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF COTTON (*GOSSYPIUM HIRSUTUM* L.) WHEN GROWING BY THE SEEDLING METHOD

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 22.01.2024

Submitted 02.04.2024

Summary

This research work is aimed at finding and creating new effective and environmentally friendly means of increasing the productivity of agricultural crops. The scientific novelty consists in the study of zoohumus as an organic fertilizer in the cultivation of cotton seedlings.

Abstract

Introduction. In the last decade, cotton has increasingly attracted the attention of not only researchers, but also farmers of the Lower Volga region and other regions of our country. This is due to the fact that Russia does not have its own raw materials of this strategically important crop. Therefore, the development of cotton production has good prospects in the southern regions of our country. For the further development and intensification of cotton growing in the Volgograd region, it is necessary to develop not only methods of agricultural techniques for growing cotton with high commodity indicators, but also to solve a number of logistical issues. **Object.** Cotton seedlings. **Materials and methods.** A scheme has been developed for a laboratory experiment using mineral (0.4% solution of compound fertilizer 350 ml/0.5 l of soil) and organic top dressing (zoohumus 5 g/0.5 l of soil) when growing cotton seedlings, with further observations in the open ground. **Results and conclusions.** The use of fertilizing at the early stages of the development of cotton seedlings has had a positive effect, including during its further cultivation in the open ground. A significant increase in yield was obtained due to higher plant preservation and improvement of their morphometric parameters. The profitability of using pet humus in the early stages of seedling development exceeded the control by 149.4% and by 135.2% – the option with the use of mineral fertilizers. Further study of the possibility of using zoohumus as a plant growth stimulant is required.

Keywords: cotton seedlings, *Gossypium hirsutum* L., cotton, cotton cultivation.

Citation. Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S. The effect of fertilization on the development and productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) when growing by the seedling method. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 88-96 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-10.

The author's contribution. The authors of this research paper have equally participated personally at all stages of its implementation. All the authors of the present article are familiar with its contents and have approved the final version presented.

Conflict of interest. The authors do not declare a conflict of interest.

УДК 633.511:631.8

**ВЛИЯНИЕ ПОДКОРМОК НА РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ХЛОПЧАТНИКА
(*Gossypium hirsutum* L.) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАССАДНЫМ МЕТОДОМ**

Карпова Т. Л., кандидат биологических наук, доцент
Роменская О. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Семенова Е. С., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В последнее десятилетие хлопчатник все больше привлекает внимание не только исследователей, но и аграриев Нижнего Поволжья и других регионов нашей страны. Это обусловлено тем, что Россия не имеет собственного сырья этой стратегически важной культуры. Поэтому развитие хлопководства имеет в южных регионах нашей страны хорошие перспективы. Для дальнейшего развития и интенсификации хлопководства в Волгоградской области необходимо разработать не только приемы агротехники выращивания хлопчатника с высокими товарными показателями, но и решить ряд логистических вопросов. **Объект.** Рассада хлопчатника. **Материалы и методы.** Разработана схема лабораторного эксперимента использования минеральной (0,4% раствор комплексного удобрения 350 мл/0,5 л почвы) и органической подкормки (зоогумус 5 г/0,5 л почвогрунта) при выращивании рассады хлопчатника, с дальнейшими наблюдениями в открытом грунте. **Результаты и выводы.** Применение подкормок на ранних этапах развития рассады хлопка дало положительный эффект, в том числе и при дальнейшем ее выращивании в открытом грунте. Получена существенная прибавка урожая за счет более высокой сохранности растений и улучшения их морфометрических показателей. Рентабельность использования зоогумуса на ранних стадиях развития рассады превышала контроль на 149,4% и на 135,2% – вариант с применением минеральных удобрений. Требуется дальнейшее изучение возможности использования зоогумуса в качестве стимулятора роста растений.

Ключевые слова: рассада хлопка, *Gossypium hirsutum* L., хлопчатник, возделывание хлопчатника.

Цитирование. Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С. Влияние подкормок на развитие и продуктивность хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) при выращивании рассадным методом. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 88-96. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-10.

Авторский вклад. Авторы настоящей исследовательской работы в равной степени приняли личное участие на всех этапах ее выполнения. Все авторы настоящей статьи ознакомлены с ее содержанием и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. О конфликте интересов авторы не заявляют.

Введение. Попытки выращивать хлопок в Волгоградской области предпринимались еще в послевоенные годы прошлого века. Отсутствие районированных сортов в тот период, сравнительно более короткий климатически благоприятный период, налаженное производство хлопчатника в южных регионах страны не позволили внедрить его в спектр агрокультур Нижнего Поволжья. После распада СССР и, соответственно, потери собственной сырьевой базы производства хлопка перед аграрной наукой была поставлена задача возобновить исследования по возможности выращивания хлопчатника на территории нашей страны.

В 2016 г. был зарегистрирован ультраскороспелый сорт ПГССХ-1, выведенный специально для выращивания на территории Волгоградской области. Этот сорт отличается более коротким вегетационным периодом, высокой продуктивностью, болезнеустойчивостью, имеет высокое качество и количество волокна [1].

Для широкого внедрения в производство хлопчатника остается еще ряд вопросов по отдельным приемам агротехники, адаптированным к условиям Волгоградской области. Дискуссионным остается вопрос о возможности рассадного метода выращивания хлопчатника. Если для традиционных овощных культур рациональное использование стимуляторов роста и подкормок изучается в условиях Волгоградской области довольно интенсивно [2, 3, 4, 5], то для хлопка, особенно на ранних стадиях развития, информация недостаточна [6].

Цель нашей работы заключалась в проведении оценки органической и минеральной подкормки при выращивании хлопка рассадным методом, а также ее последствия при развитии растений в открытом грунте.

Материалы и методы. Исследования проводили в лабораторных и полевых условиях 2023 г. Объектом исследований служила рассада хлопка.

Посев семян проводили в предварительно подготовленные пластиковые стаканы объемом 0,5 л на глубину 2 см, семена замачивали в воде при температуре 23 °С на 48 часов. Рассада выращивалась в диапазоне температур 21-23°С до фазы 2-4 настоящих листьев в течение 30 дней в условиях защищенного грунта и 6 дней в открытом грунте, защищенном от ветра месте до высадки в поле.

Опыт по определению эффективности выращивания рассады с использованием минеральных и органических удобрений заключался в следующем:

1. Контроль: высеив в почву без подкормок.

2. Минеральная подкормка 0,4% раствор комплексного удобрения 350 мл/0,5 л почвы (растения поливались раствором по 50 мл до достижения рассады 1 пары настоящих листьев).

3. Зоогумус 5 г/0,5 л почвы.

Подготовка грунта заключалась в его обеззараживании путем пропаривания водой при 100 °С и выдерживания под пленкой в течение 12 часов, с последующей просушкой.

В качестве минеральной подкормки использовалось комплексное водорастворимое универсальное удобрение Бионекс-Кеми. Водорастворимый NPK 18:18:18. В состав удобрения входит:

- Макроэлементы, % не менее: азот общий (N) – 18; фосфор общий (P₂O₅) – 18; калий общий (K₂O) – 18; сера (S) – 4.

- Микроэлементы, % не менее: Mg – 1,1; B – 0,025; Mo – 0,001; в хелатной форме: Co – 0,001; Cu – 0,01; Fe – 0,06; Mn – 0,05.

В последние десятилетия с развитием биотехнологий по производству насекомых для различных целей использование зоогумуса все больше привлекает внимание исследователей [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Ряд исследований по применению зоогумуса защищен патентом (Искусственная почвосмесь на основе коракомпоста/Зудилин С.Н., Оленин О.А.// Патент на изобретение RU 2 785 960 C1, 15.12.2022. Заявка № 2022109308 от 08.04.2022.9; Способ получения биологически активных веществ / Пиденко С. А., Титов Т. П., Жигулин Н. Н. // Патент на изобретение RU 2 760 481 C1, 03.09.2021. Заявка № 2021105826 от 25.11. 2021).

В эксперименте использовали зоогумус, полученный при воспитании гусениц большой восковой моли (*Galleria mellonella*) на естественном корме (пчелиные соты). Никаких других добавок в корм не поступало. Предварительно пчелиные соты обеззараживали в термостате при температуре 80°С в течение суток. Зоогумус внесен в перечень удобрений для органического земледелия. Состав зоогумуса представлен в таблице 1. Анализ проведен в сертифицированной лаборатории ФГБУ «Ростовский референтный центр Россельхознадзора» Волгоградского филиала.

Таблица 1 – Состав зоогумуса, используемого в эксперименте

Table 1 – Composition of the pet food used in the experiment

№ п/п	Наименование показателя / Indicator name	Результат испытаний / Test result	Единица изм. / Unit
1	Общий азот / Total nitrogen	4,4	%
2	Калий / Potassium	0,25	%
3	Медь / Copper	8,8	мг/кг / mg/kg
4	Цинк / Zinc	Более 200 / More than 200	мг/кг / mg/kg
5	Общий фосфор / Total phosphorus	0,68	%

Предварительные эксперименты с определением дозы зоогумуса показали, что достоверных различий в начальной фазе развития рассады хлопка при использовании дозровок в 5, 10 и 15 г на 0,5 л почвы не выявлено, поэтому в полевом эксперименте использовалась минимальная доза – 5 г (рисунок 1).

Также проводился эксперимент с выращиванием рассады в минеральных кубиках по следующей схеме:

1. Контроль кубик перед посевом насыщался водой (600 мл).

2. Минеральная подкормка 0,4% раствор комплексного удобрения 600 мл/кубик.

3. Зоогумус – насыщение минерального кубика 1% раствором, 600 мл.

Положительного результата получить не удалось ни на одном варианте на ранних этапах развития растений. Поэтому эксперимент был прекращен (рисунок 2).



Рисунок 1 – Развитие корневой системы хлопчатника в зависимости от вида и дозы подкормки

Figure 1 – Development of the cotton root system depending on the type and dose of top dressing

1 – контроль, 2 – минеральная подкормка, 3, 4, 5 – зоогумус 5, 10 и 15 г соответственно / 1 – control, 2 – mineral feeding, 3, 4, 5 – zoohumus 5, 10 and 15 g, respectively

Проращивание семян хлопчатника начинается с появления корешка, быстро уходящего в глубину почвы, затем подсемядольного колена. Особенности строения и развития корневой системы не позволили растениям хлопка развиваться в минеральных кубиках – их высота была недостаточна для нормального развития придаточных корней.



Рисунок 2 – Всходы хлопка при различных способах посева

Figure 2 – Cotton seedlings with different sowing methods

Опытный участок расположен на полигоне агробiotехнологий Волгоградского ГАУ в окрестностях поселка Горная поляна г. Волгограда (географические координаты участка: N48°33'25.9596" E44°12'36.6912" – N48°33'25.589696" E44°12'35.7264" – N48°33'25.9884" E44°12'36.18" – N48°33'26.1252" E 44°12'37.0728"). Климат района исследований характеризуется как засушливый, резко континентальный.

По содержанию подвижных элементов питания почву опытного участка, в соответствии с классификацией, можно отнести к низкообеспеченной доступным азотом, среднеобеспеченной подвижным фосфором и высокообеспеченной калием (табл. 2)

Таблица 2 – Агрохимическая характеристика почвы на опытном участке
Table 2 – Agrochemical characteristics of the soil at the experimental site

Почва / Soil	Показатель, мг/кг сухой почвы / Indicator, mg/kg of dry soil					
	Гумус, % / Humus, %	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
Светло-каштановая / Light chestnut	1,80	7,84	9,2	6,6	30,0	400

С помощью программного обеспечения – платформы цифрового сельского хозяйства ExactFarming, было установлено, что в целом вегетационный сезон отличался жарким летом, среднемесячная температура была выше среднесезонных показателей на 4-5°C. Особенно тяжелые условия сложились в первых двух декадах августа, когда дневные температуры достигали более 40°C.

Осадки в летний период выпадали неравномерно, вследствие высоких температур и испаряемости влага не успевала поглощаться почвой. Наиболее засушливым был август. Сентябрь был теплым и дождливым, что привело к удлинению заключительных фаз развития хлопка.

Результаты и обсуждение. Развитие хлопководства на юге России, учитывая положительный опыт середины прошлого века и развернувшихся планомерных исследований в Астраханской, Волгоградской областях, Краснодарском и Ставропольском краях, позволит создать собственную базу этого стратегического сырья [11].

Одним из необходимых приемов в технологии получения гарантированного урожая должного качества хлопка служит подготовка семян и/или получение качественной рассады, поэтому нами проведена сравнительная оценка рассады хлопка и дальнейшего развития растений при использовании комплексной минеральной подкормки и органического удобрения – зоогумуса.

При оптимальных условиях в открытом грунте массовые всходы хлопчатника появляются на 15-20 день. При проращивании в лабораторных условиях в песке в термостате при температуре 25°C и влажности 60-65% воздуха энергию прорастания определяют на 4-е сутки [12]. В нашем эксперименте первые проростки были получены на 7 день после посева (таблица 3). Период всходов был растянут до 20 дней.

Таблица 3 – Лабораторная всхожесть хлопка на различных вариантах
Table 3 – Laboratory germination of cotton in various variants

Вариант / Variant	Энергия прорастания, всхожесть, % / Germination energy, germination, %			Пораженность корневыми гнилями, % / Root rot infestation, %	Сохранность растений к посадке, % / Preservation of plants for planting, %
	7 суток / 7 nights	15 суток / 15 nights	20 суток / 20 nights		
Контроль / Control	7,0	66,0	78,1	5,1	94,9
Минеральные удобрения / Mineral fertilizers	10,0	66,5	79,3	1,1	98,9
Зоогумус / humus	26,7	69,3	81,2	0,1	99,9

Семена, развивающиеся в почвогрунте с добавлением зоогумуса, в проведенных нами лабораторных экспериментах имели лучшую энергию прорастания и всхожесть. Также быстрее сеянцы, полученные на этом варианте, проходили начальные стадии развития (всходы, семядольные листья, первые настоящие листья и т.д.), в среднем на 3 суток по

сравнению с контролем и на 1,5-2 суток опережали развитие сеянцев на варианте с использованием минеральной подкормки. По нашему мнению, это связано с более быстрым развитием придаточных корней при использовании зоогумуса (рисунок 1).

В течение всего периода выращивания рассады отмечалась пораженность сеянцев корневыми гнилями (при проведении эксперимента защитные мероприятия с использованием фунгицидов не проводились). Первые признаки поражения отмечались в фазу первых настоящих листьев. На контрольном варианте потери составили 5,1%, при использовании минеральной подкормки – 1,1%. Использование зоогумуса позволило максимально сохранить растения, на этом варианте отмечались единичные поражения.

Полученную рассаду хлопка высаживали в открытый грунт 24 мая 2023 г. Этот день отличался пасмурной погодой, температура днем достигала 26°C, вечером прошел небольшой дождь. В целом погодные условия во время высадки рассады были благоприятны. Дальнейший уход за растениями осуществлялся по общей для хлопкового поля технологии.

В таблице 4 представлены данные по сохранности растений.

Таблица 4 – Сохранность сеянцев хлопка при высадке в поле

Table 4 – Safety of cotton seedlings when planted in the field

Вариант / Variant	Высажено, шт. / Planted, pcs.	Сохранность к уборке, шт. / Safety for cleaning, pcs.	
		шт. / state.	%
Минеральные удобрения / Mineral fertilizers	300	220	73,3
Зоогумус / humus	300	270	90,0
Контроль / Control	300	189	63,0

Лучшая сохранность была получена при использовании в качестве органического удобрения рассады зоогумуса, на варианте с минеральной подкормкой приживаемость также была выше по сравнению с контролем.

В таблице 5 представлены результаты морфометрических показателей хлопчатника и биологическая урожайность по вариантам.

Таблица 5 – Учет параметров хлопка по вариантам опыта. Рассадный способ.

Table 5 – Accounting for cotton parameters by experience options. The seedling method.

Вариант / Variant	Высота, м / Height m	Число коробочек, шт./растение / Number of bolls, pcs./plant		Урожайность общая по датам сбора, г/ растение / Total yield by harvest dates, g/plant				
		Продуктивные / Productive	Непродуктивные / Unproductive	13.09	02.10	7.10	24.10	Всего / Altogether
Минеральные удобрения / Mineral fertilizers	0,65	11,5	4,9	9,7	22,5	9,1	20,2	61,5
Зоогумус / humus	0,69	12,7	4,9	6,3	17,3	13,8	20,7	58,1
Контроль / Control	0,61	11,7	7,2	2,9	7,3	8,4	12,3	30,9

По морфометрическим показателям и продуктивности одного растения в условиях мелкоделяночного опыта лидировал вариант с минеральными подкормками при выращивании рассады. Однако в пересчете на гектар урожайность за счет более высокой сохранности растений была на варианте с использованием зоогумуса (таблица 6).

Таблица 6 – Биологическая урожайность хлопка по вариантам опыта

Table 6 – Biological yield of cotton by experiment options

Вариант / Variant	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Прибавка урожая / Increase in yield	
		т/га / t/ha	%
Минеральные удобрения / Mineral fertilizers	4,41	2,66	152
Зоогумус / humus	4,71	2,96	169,1
Контроль / Control	1,75	-	-

Итоговым показателем эффективности производства служит экономическая целесообразность того или иного агротехнологического приёма.

Расчет экономической эффективности вариантов применения минеральной и органической подкормок при выращивании рассады хлопка-сырца производился с использованием ряда денежных и натуральных показателей: общие затраты на использование удобрений, затраты на уборку дополнительной продукции, урожайность (т/га), цена реализации, себестоимость продукции, расчетная прибыль на 1 т и на 1 га, уровень рентабельности. Стоимость минеральной подкормки включала в себя стоимость самого удобрения, затраты на его доставку и внесение. Стоимость зоогумуса, полученного при разведении восковой моли, оценивалась по затратам на его очистку и подготовку к внесению.

Результаты представлены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Расчет дополнительных затрат, связанных с применением минеральной и органической подкормок по вариантам опыта

Table 7 – Calculation of additional costs associated with the use of mineral and organic top dressing according to the experience options

Показатели / Indicators	Минеральная подкормка / Mineral feeding	Зоогумус / humus
Общие затраты на использование удобрений, руб./га / Total costs of fertilizer use, RUB/ha	128968,0	14700,0
Затраты на уборку дополнительной продукции, руб./га / Costs of harvesting additional products, RUB/ha	23940,0	26640,0
Итого затрат, руб./га / Total costs, RUB/ha	152908,0	41340,0

Таблица 8 – Экономическая эффективность различных способов выращивания рассады хлопка

Table 8 – Economic efficiency of various methods of growing cotton seedlings

Вариант опыта / Experience option	Контроль / Control	Минеральная подкормка / Mineral feeding	Зоогумус / humus
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	1,75	4,41	4,71
Прибавка урожая на 1 га, т / Yield increase per 1 ha, t	-	2,66	2,96
Производственные издержки на 1 га, руб. / Production costs per 1 ha, RUB	120657,0	273565,0	161997,0
Себестоимость 1 т, руб. / Cost of production per 1 ton, RUB	68946,86	62032,88	34394,27
Цена реализации 1 т, руб. / Selling price 1 ton, RUB	104400,0	104400,0	104400,0
Стоимость валовой продукции с 1 га, руб. / Cost of gross output per 1 ha, RUB	182700,0	460404,0	491724,0
Расчетная прибыль, руб. на: / Estimated profit, RUB for:			
1 т / 1 t	35453,14	42367,12	70005,73
1 га / 1 ha	62043,0	186839,0	329727,0
Уровень рентабельности, % / Profitability level, %	51,4	68,3	203,5

Анализируя результаты эксперимента, можно констатировать, что применение подкормок на ранних этапах выращивания рассады хлопка дало высокий положительный эффект при дальнейшем его выращивании в открытом грунте. Получена существенная прибавка урожая за счет более высокой сохранности растений и улучшения их морфометрических показателей.

Так как урожайность с 1 га была выше на варианте с применением зоогумуса, чем на контрольном варианте, на 269% и на 107%, чем на варианте с применением минеральной подкормки, а себестоимость 1 т, руб. на данном варианте ниже, чем на контроле и с применением минеральной подкормки на 34552,59 и 27638,61 руб. соответственно, то и

уровень рентабельности был значительно выше на варианте с применением зоогумуса. Так, рентабельность на данном варианте превышала контроль на 149,4% и на 135,2% – вариант с применением минеральных удобрений.

Таким образом, с точки зрения эконмической целесообразности наиболее приемлемым служит вариант с использованием зоогумуса.

Вывод. Несмотря на небольшие объемы производства зоогумуса, его применение вполне обоснованно можно рекомендовать для выращивания рассады овощных культур, особенно в органическом земледелии. Также в качестве сырья для производства жидких концентрированных органических удобрений.

Требуется дальнейшее изучение возможности использования зоогумуса в качестве стимулятора роста растений, использования на охраняемых территориях для восстановления плодородия почвы и других областях применения.

Conclusions. Thus, from the point of view of economic expediency, the most acceptable option is the use of zoogumus.

Despite the small production of zoogumus, its use can be reasonably recommended for the cultivation of seedlings of vegetable crops, especially in organic farming. Also as a raw material for the production of liquid concentrated organic fertilizers.

Further study is required of the possibility of using zoohumus as a plant growth stimulant, use in protected areas to restore soil fertility and other applications.

Библиографический список

1. Подковыров И. Ю., Ермак Д. Ю. Приемы формирования качества семян хлопчатника при выращивании на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2021. № 1 (61). С. 174-182.
2. Москвичёв А. Ю., Константинова Т. В. Регулирование минерального питания зеленных культур при анодном растворении микроэлементов в СПК «Тепличный». Известия НВ АУК. 2016. № 4 (44). С. 76-82.
3. Маликова П. С., Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А. Влияние досвечивания, стимуляторов роста и влажности в камере сращивания на корнеобразование привитой рассады. Орошаемое земледелие. 2023. № 4 (43). С. 16-19.
4. Дьяков А. С., Зайцев С. В. Эффективность внекорневых обработок регуляторами роста в повышении продуктивности арбуза столового на светло-каштановых почвах Северного Прикаспия. Известия НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 165-173.
5. Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А. Влияние биопрепаратов на основе *Trichoderma* и *Bacillus subtilis* на продуктивность картофеля в условиях орошаемого земледелия Волгоградской области. Аграрная Россия. 2023. № 7. С. 17-23.
6. Глинушкин А. П., Подковыров И. Ю., Свиридова Л. Л., Ермак Д. Ю., Лысенко Н. Н. Влияние удобрений и чеканки на распространённость болезней и семенную продуктивность хлопчатника в условиях каштановых почв. Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 83-87.
7. Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Использование регуляторов роста и экспериментального светодиодного фитооблучателя в клональном микроразмножении земляники садовой (*Fragaria × ananassa*, Duchesne ex Weston). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (4). С. 324-333.
8. Бгатов А. В., Сороколетов О. Н. Улучшение структуры и плодородия почвы, ее экологическая очистка совместным внесением зоогумуса и природных цеолитов. Успехи современного естествознания. 2004. № 4. С. 138-139.
9. Бондаренко А. Н. Результаты применения стимуляторов роста нового поколения при возделывании лука репчатого. Известия НВ АУК. 2022. № 1 (65). С. 29-37.
10. Петров Н. Ю., Юдаев И. В., Кувшинова Е. К., Родионова С. А. Биологическая активность и влияние Гумавита на прорастание семян. Известия НВ АУК. 2020. № 2 (58). С. 83-94.
11. Абалдов А. Н., Васильева Т. В. Исторический опыт возрождения хлопководства на юге России. Вестник ОрелГАУ. 2008. № 3. С. 9-11.
12. Рашидова Д. К., Амантурдиев Ш. Б., Шарипов Ш. Т., Мамедов Н. М., Якубов М. М. Всхожесть семян, рост, развитие и урожайность хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) под влиянием нанополлимерных препаратов на основе хитозана. Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 5. С. 1010-1020.

References

1. Podkovyrov I. Yu., Ermak D. Y. Methods of Forming the Quality of Cotton Seeds in Growing on Light Chestnut Soils of the Volgograd Region. Izvestiya NV AUK. 2021. № 1 (61). Pp. 174-182.
2. Moskvichev A. Yu., Konstantinova T. V. Regulation of Mineral Nutrition of Green Crops in the Anodic Dissolution of Trace Elements in the Greenhouse Agricultural Complex. Izvestiya NV AUK. 2016. № 4 (44). Pp. 76-82.
3. Malikova P. S., Gichenkova O. G., Laptina Y. A. Effect of Additional Lighting, Growth Stimulants and Humidity in the Splice Chamber on the Root Formation of Grafted Seedlings. Irrigated agriculture. 2023. № 4 (43). Pp. 16-19.
4. Dyakov A. S., Zaitsev S. V. Efficacy of Foliar Treatments with Growth Regulators in Increasing the Productivity of Table Watermelon on Light Chestnut Soils of the Northern Caspian Region. Izvestiya NV AUK. 2022. № 4 (68). Pp. 165-173.
5. Gichenkova O. G., Laptina Y. A. Effect of Biological Preparations Based on *Trichoderma* and *Bacillus subtilis* on Potato Productivity in Irrigated Agriculture in the Volgograd Region. Agrarian Russia. 2023. № 7. Pp. 17-23.
6. Glinushkin A. P., Podkovyrov I. Yu., Sviridova L. L., Ermak D. Yu., Lysenko N. N. Effect of Fertilizers and Coinage on Disease Prevalence and Seed Productivity of Cotton in Chestnut Soils. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2002. V. 36. № 4. Pp. 83-87.

7. Markova M. G., Somova E. N. Use of Growth Regulators and Experimental LED Phyto-Irradiator in Clonal Micropropagation of Garden Strawberry (Fragaria × ananassa, Duchesne ex Weston). Agrarian Science of the Euro-North-East. 2019. № 20 (4). Pp. 324-333.
8. Bgatov A. V., Sorokoletov O. N. Improvement of the Structure and Fertility of the Soil, Its Ecological Cleaning by Joint Introduction of Zoohumus and Natural Zeolites. Advances in Modern Natural Science. 2004. № 4. Pp. 138-139.
9. Bondarenko A. N. Results of the Use of New Generation Growth Stimulants in the Cultivation of Onions. Izvestiya NV AUK. 2022. № 1 (65). Pp. 29-37.
10. Petrov N. Yu., Yudaev I. V., Kuvshinova E. K., Rodionova S. A. Biological Activity and Influence of Gumavit on Seed Germination. Izvestiya NV AUK. 2020. № 2 (58). Pp. 83-94.
11. Abaldov A. N., Vasil'eva T. V. Historical experience of the revival of cotton growing in the south of Russia. Vestnik OrelGAU. 2008. № 3. Pp. 9-11.
12. Rashidova D. K., Amanturdiyev Sh. B., Sharipov Sh. T., Mamedov N. M., Yakubov M. M. Germination of seeds, growth, development and yield of cotton (Gossypium hirsutum L.) under the influence of nanopolymer preparations based on chitosan. Agricultural Biology. 2022. V. 57. № 5. Pp. 1010-1020.

Информация об авторах

Карпова Татьяна Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (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 государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: o_romenskaya88@mail.ru

Семенова Екатерина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru

Author's Information

Karpova Tatyana Leonidovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, ave. Universitetskii, 26), e-mail: calosoma.00@mail.ru

Romenskaya Olga Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, ave. Universitetskii, 26), e-mail: o_romenskaya88@mail.ru

Semenova Ekaterina Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, ave. Universitetskii, 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-11

THE INFLUENCE OF HARVESTING METHODS ON SEEDING QUALITIES AND INTERNAL MYCOFLORA OF GRAIN SORGHUM

Kincharova M. N., Matvienko E. V.

Volga Research Institute of Selection and Seed Production named after P. N. Konstantinov – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences Ust-Kinelsky, Kinel, Samara region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: opel0076687@yandex.ru

Received 31.03.2024

Submitted 15.05.2024

The research was carried out within the framework of the Program of Fundamental Scientific Research of the Russian Academy of Sciences FMRW-2022-0019 (state registration No. 122032200042-8) of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic "Scientific basis for the creation of new varieties of cereals, grain fodder and sorghum crops, with complex resistance to bio and abiotic stressors, with high economically valuable traits, ensuring stable yields in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region"

Summary

The article presents research to study the influence of different harvesting methods on the sowing qualities and internal mycoflora of grain sorghum. Seeds harvested by hand have higher sowing qualities than seeds harvested using a combine. The energy of germination and germination of seeds on the Ros variety was within the limits for manual harvesting – 80-88% and 88-94%; for seeds harvested using a combine – 74-76% and 80-82%, respectively. On the variety Kinelskoye-63, the germination energy was 85-87% for manual harvesting, and 74-77% for seeds harvested using a combine; germination was respectively 92-96% for manual harvesting and 80-82.0% for seeds harvested by a combine.

Abstract

Introduction. High quality seeds also provide starting potential for the most optimal formation of plant productivity and resistance to unfavorable factors. **Object.** Samples of grain sorghum grain varieties Ros and Kinelskoe 63 were used as experimental material. **Materials and methods.** Laboratory and field studies were carried out on the basis of the Volga Region Research Institute of Seed Research, a branch of the Samara Research Center of the Russian Academy of Sciences in the laboratory of selection and seed production of cereals and sorghum crops in 2021-2022. The implementation of the experiments and the corresponding observations were carried out

according to the methodology of the State Variety Testing of Agricultural Crops. **Results and conclusion.** A study of the composition of mycoflora showed that the most common species on grain sorghum seeds is *Alternaria*. Its occurrence on sorghum seeds was greatest and stable regardless of the harvesting method. Fungi of the genera *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium* were encountered with less frequency. They injure seedlings, inhibit their development and cause a decrease in the sowing quality of seeds. Research results have shown that seeds harvested by hand have higher sowing qualities than seeds harvested using a combine. The energy of germination and germination of seeds on the Ros variety was within the limits for manual harvesting – 80-88% and 88-94%; for seeds harvested using a combine – 74-76% and 80-82%, respectively; the weight of 1000 seeds was 24.4-26.3 g for manual harvesting, and 23.2-25.1 g for seeds harvested using a combine. On the Kinelskoe-63 variety, the germination energy was 85-87% for manual harvesting, for seeds harvested using a combine – 74-77%; germination was respectively 92-96% for manual harvesting and 80-82.0% for seeds harvested by a combine; the weight of 1000 seeds was 21.6-26.6 g when harvested manually, and 20.3-25.5 g for seeds harvested using a combine. To form selection batches of seeds in order to preserve and fully realize the genetic potential, it is more advisable to use manual cleaning.

Keywords: grain sorghum, harvesting of grain sorghum, sowing qualities of sorghum, sorghum seeds.

Citation. Kincharova M. N., Matvienko E. V. The influence of harvesting methods on seeding qualities and internal micoflora of grain sorghum. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 96-104 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-11.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, or 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 632.4.01/08

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ УБОРКИ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА И ВНУТРЕНнюю МИКОФЛОРУ СОРГО ЗЕРНОВОГО

Кинчарова М. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Матвиенко Е. В., кандидат биологических наук, младший научный сотрудник

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова
пгт. Усть-Кинельский, г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения Государственного задания по теме: «Научные основы создания новых сортов крупяных, зернофуражных и сорговых культур, с комплексной устойчивостью к био и абиострессорам, с высокими хозяйственно ценными признаками, обеспечивающих получение стабильных урожаев в условиях лесостепи Среднего Поволжья».
(FMRW-2022-0019) номер государственной регистрации ЕГИСУ НИОКР 1021032424537-6-4.1.6

Актуальность. Семена высокого качества обеспечивают стартовый потенциал для наиболее оптимального формирования продуктивности и устойчивости растений к неблагоприятным факторам. **Объект.** В качестве экспериментального материала использовали образцы зерна сорго зернового сортов Рось и Кинельское 63. **Материалы и методы.** Лабораторные и полевые исследования проведены на базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН в лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур в 2021–2022 г. Для изучения были взяты 2 сорта сорго зернового районированных в Самарской области – Рось и Кинельское-63. **Результаты и выводы.** Изучение состава микофлоры показало, что самым распространенным видом на семенах сорго зернового является *Alternaria*. Ее встречаемость на семенах сорго была наибольшей и стабильной независимо от способа уборки. С меньшей частотой встречались грибы родов – *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*. Они травмируют проростки, угнетают их развитие и вызывают снижение посевных качеств семян. Результаты исследований показали, что у семян, убранных ручным способом, более высокие посевные качества, чем у семян, убранных с помощью комбайна. Энергия прорастания и всхожесть семян на сорте Рось находилась в пределах при ручной уборке – 80-88% и 88-94%; у семян, убранных с помощью комбайна, – 74-76% и 80-82% соответственно; масса 1000 семян составляла при ручной уборке – 24,4-26,3 г., у семян, убранных с помощью комбайна – 23,2-25,1 г. На сорте Кинельское-63 энергия прорастания составляла при ручной уборке 85-87%, у семян, убранных с помощью комбайна – 74-77%; всхожесть составляла соответственно 92-96% при ручной уборке и 80-82,0% у семян, убранных комбайном; масса 1000 семян составляла при ручной уборке – 21,6-26,6 г., у семян, убранных с помощью комбайна – 20,3-25,5 г. Для формирования селекционных партий семян с целью сохранения и полной реализации генетического потенциала целесообразнее использовать ручную уборку.

Ключевые слова: сорго зерновое, уборка зернового сорго, посевные качества сорго, семена сорго.

Цитирование. Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Влияние способов уборки на посевные качества и внутреннюю микрофлору сорго зернового. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 96-104. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-11.

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. Целесообразность возделывания сорго в засушливых и полузасушливых районах России обуславливается его высокой продуктивностью и разным использованием. Зеленая масса и зерно сорго охотно поедаются свиньями, коровами, овцами, лошадьми, кроликами и разными видами рыб, птиц – курами, гусями [1, 2].

Семена высокого качества обеспечивают также стартовый потенциал для оптимального формирования продуктивности и устойчивости растений к неблагоприятным факторам. На качество семян оказывают влияние все операции, проводимые после уборки урожая, в том числе и условия хранения [3, 5].

В связи с этим изыскание путей повышения посевных качеств семян и всхожести сорго изучалось рядом исследователей (Баглаева Л. Ю., Болдарева Л. Л. Влияние способов уборки на микрофлору и всхожесть семян сорго. Научные труды южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», серия: Сельскохозяйственные науки. 2011. № 137. С. 95-100; Землянов А. Н., Землянов В. А. Технологический комплекс и его влияние на фитосанитарное состояние посевов сорго. Научный журнал КубГАУ. 2012. № 83 (09). С.396-408; Баглаева Л. Ю., Болдарева Л. Л. Взаимосвязь показателей эпифитной микрофлоры и посевных качеств семян сорговых культур. Научные труды южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», серия: Сельскохозяйственные науки. 2012. № 145. С. 68-75), Балинова Т. А., Сангаджиев М. М., Казаков К. Г. и др. (2016) [8], Панкрашова Ю. В., Хазов Р. В. (2019) [9], Шукис Е. Р., Шукис С. К. (2019) [10], Ефремова И. Г., Кибальник О. П. (2020) [11], Газзаева В. С., Базаева Л. М. (2021) [12], Степанченко В. И., Бочкарева Ю. В. (2023) [13], Серебrenникова Е. С. и др. [15], Kovtunov V., Kovtunov N. является весьма актуальным направлением исследований.

Цель исследования – явилось изучение влияния разных способов уборки на посевные качества и внутреннюю микрофлору сорго зернового.

Материалы и методы. Лабораторные и полевые исследования проведены на базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН в лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур в 2021-2022 гг.

Для изучения были взяты семена районированных и перспективных для возделывания в Самарской области сортов сорго зернового – Рось и Кинельское-63 [14].

По влиянию способов уборки сорго на посевные качества и микрофлору нами было решено заложить два варианта опыта:

1. Комбайновая уборка. Проводили поделяночную уборку урожая комбайном «Сампо-130»;

2. Ручная уборка. Проводили уборку с помощью серпа.

Уход за посевами осуществляли по общепринятой технологии для лесостепной зоны Среднего Поволжья и все оценки и наблюдения выполнены в соответствии с Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос. – 1971. – Вып. 2. – С. 230-247).

Все собранное зерно очищалось, и доводилось до кондиционных стандартов согласно требованиям ГОСТ Р52325-2005.

В лабораторных условиях проводили следующие исследования:

1. Определялись посевные качества семян сорго:

А) Энергию прорастания определяли на 3-й день %.

Б) Всхожесть семян на 7-й день после заложения опыта %, по нормально проросшим и развитым проросткам согласно ГОСТу 12038-84.

В) Массу 1000 семян, г.

2. Фитопатологическую экспертизу семян сорго зернового проводили по ГОСТ 12044-93: микроскопическим и биологическим методами. Семена проращивали на гофрированной фильтровальной бумаге во влажной камере с естественной вентиляцией, шт.

3. Подсчет количество непроросших семян, шт. (набухших, загнивших и твердых).

4. Измерение зародышевых органов (ростки и корешки, см).

Все перечисленные выше исследования повторяли через 30 дней, в процессе хранения.

Результаты и обсуждение. Фитопатологическая экспертиза семян сорго зернового показала, что на семенах были обнаружены спороношения грибов из родов *Alternaria sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium*, *Cladosporium* и др. (таблицы 1-4).

Таблица 1 – Влияние способа уборки на посевные качества семян сорго и колоний грибов в день уборки, 2021 г.

Table 1 – The influence of the harvesting method on the sowing qualities of sorghum seeds and mushroom colonies on the day of harvesting, 2021.

Способ уборки / harvesting method	Энергия прорастания, % / Germination on energy, %	Всхожесть, % / Sprout, %	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Колоний грибов на 100 семян, шт. / Fungal colonies per 100 seeds, pcs.	Количество непроросших семян, шт. / Number of ungerminated seeds, pcs.			Длина зародышевых органов, см / Length of embryonic organs, cm	
					Набухших / Swollen	Загнивших / Rotten	Твердых / Solid	Ростки / Sprouts	Корешки / Roots
Сорт Рось / Variety Ros									
Комбайн / Combine	74	80	23,2	35	6	10	4	3,3	4,0
Ручная / Manual	80	88	24,4	15	3	7	3	3,8	4,8
Сорт Кинельское 63 / Variety Kinelskoye-63									
Комбайн / Combine	74	80	20,3	12	13	5	2	3,5	4,2
Ручная / Manual	85	92	21,6	6	5	2	2	4,3	5,5

Анализ данных за 2021 год о влиянии способа уборки на посевные качества показал, что энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян сорго колебалась на сорте Рось, убранном с помощью комбайна от 74,0% до 80,0%, при ручной уборке соответственно от 80,0% до 88,0%, что выше на 6-8%. При ручной уборке также была выше масса 1000 семян – на 1,1 г по сравнению с комбайновой уборкой.

Заселенность патогенами семян сорго зернового была ниже при ручной уборке в 2 раза и составляла – 15%, а при комбайновой она составила 35%.

На сорте Кинельское-63, сравнивая два способа уборки, мы установили, что показатели энергии прорастания и всхожести семян достаточно высоки: при ручной уборке энергий прорастания и всхожести на 11-12%, чем у семян, убранных с помощью комбайна.

Заселенность патогенами семян сорго зернового была ниже при ручной уборке и составляла в среднем – 6%, чем у семян, которые убрали комбайном – 13%.

Длина ростков, корешков у проростков, полученных из семян на сортах Рось и Кинельское-63 при ручной уборке в среднем превышает те же показатели проростков, полученных из семян при комбайновой уборке.

За период хранения семян сорго происходит увеличение зараженности семян плесневыми грибами *Alternaria sp.* и *Penicillium* на сорте Рось на 10% при уборке комбайном, а при ручной уборке на 2% (таблица 2).

Оценка посевных качеств на сорте Рось за период хранения произошло снижение энергии прорастания и всхожести семян 4-6% при комбайновой уборке, а на варианте с ручной уборкой, наоборот, происходило увеличение посевных качеств в среднем на 4-5%.

На сорте Кинельское-63 за период хранения при уборке комбайном произошло незначительное повышение энергии прорастания и всхожести семян на 2-3%, а при ручной уборке соответственно на 4-5%.

Таблица 2 – Влияние способа уборки на посевные качества семян сорго и колоний грибов через 30 дней хранения, 2021 г.

Table 2 – The influence of the harvesting method on the sowing qualities of sorghum seeds and mushroom colonies after 30 days of storage, 2021

Способ уборки / harvesting method	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Всхожесть, % / Sprout, %	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Колоний грибов на 100 семян, шт. / Fungal colonies per 100 seeds, pcs	Количество непроросших семян, шт. / Number of ungerminated seeds, pcs.			Длина зародышевых органов, см / Length of embryonic organs, cm	
					Набухших / Swollen	Загнивших / Rotten	Твердых / Solid	Ростки / Sprouts	Корешки / Roots
Сорт Рось / Variety Ros									
Комбайн / Combine	70	74	23,0	45	4	15	3	3,5	4,1
Ручная / Manual	85	92	24,1	17	3	10	4	4,0	4,8
Сорт Кинельское 63 / Variety Kinelskoye-63									
Комбайн / Combine	76	83	20,0	13	7	6	1	3,8	4,4
Ручная / Manual	90	96	21,1	8	1	2	2	4,8	5,8

Семена урожая 2022 г. отличались более высокой энергией прорастания и всхожестью по сравнению с 2021 г. и были более высокого качества при ручной уборке, о чем можно судить по темпам развития зародышевых органов (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние способа уборки на посевные качества семян сорго и колоний грибов в день уборки, 2022 г.

Table 3 – The influence of the harvesting method on the sowing qualities of sorghum seeds and mushroom colonies on the day of harvesting, 2022

Способ уборки / harvesting method	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Всхожесть, % / Sprout, %	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Колоний грибов на 100 семян, шт. / Fungal colonies per 100 seeds, pcs.	Количество непроросших семян, шт. / Number of ungerminated seeds, pcs.			Длина зародышевых органов, см / Length of embryonic organs, cm	
					Набухших / Swollen	Загнивших / Rotten	Твердых / Solid	Ростки / Sprouts	Корешки / Roots
Сорт Рось / Variety Ros									
Комбайн / Combine	76	82	25,1	25	4	13	3	3,5	4,3
Ручная / Manual	88	94	26,3	10	3	9	3	4,5	5,4
Сорт Кинельское 63 / Variety Kinelskoye-63									
Комбайн / Combine	77	82	25,5	10	6	6	4	3,9	4,5
Ручная / Manual	87	96	26,6	5	3	1	6	4,6	5,8

Так, семена сорго, полученные при ручной уборке, на сортах Рось и Кинельское-63 имели более высокие показатели всхожести и составляли в среднем 94-96%, что на 12-14% выше, чем на комбайновой уборке. Масса 1000 семян на сортах составляла 26,3-26,6 г., что на 1,1-1,2 г было выше, чем при уборке комбайном.

Семена сорго зернового в 2022 г. были менее пораженные фитопатогенами, а доминирующим видом был гриб из рода *Alternaria* sp. Количество колоний, на сорте Рось составила – 25% на варианте с комбайновой уборкой, при ручной уборке пораженность семян была в пределах – 10%. Сорт Кинельское-63 был более устойчив к патогенам и имели поражение семян в пределах 5-10%.

За период хранения семян сорго происходит увеличение зараженности семян плесневыми грибами на сорте Рось от 18 до 33%, что выше на 8%, чем в день уборки, и более расширился фитопатогенный состав *Alternaria* sp., *Penicillium* и *Fusarium* sp. (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние способа уборки на посевные качества семян сорго и колоний грибов через 30 дней хранения, 2022 г.

Table 4 – The influence of the harvesting method on the sowing qualities of sorghum seeds and mushroom colonies after 30 days of storage, 2022

Способ уборки / harvesting method	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Всхожесть, % / Sprout, %	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Колоний грибов на 100 семян, шт. / Fungal colonies per 100 seeds, pcs.	Количество непроросших семян, шт. / Number of ungerminated seeds, pcs.			Длина зародышевых органов, см / Length of embryonic organs, cm	
					Набухших / Swollen	Загнивших / Rotten	Твердых / Solid	Ростки / Sprouts	Корешки / Roots
Сорт Рось / Variety Ros									
Комбайн / Combine	72	78	24,7	33	2	18	2	2,8	2,9
Ручная / Manual	90	96	26,4	18	3	4	7	3,5	3,6
Сорт Кинельское 63 / Variety Kinelskoye-63									
Комбайн / Combine	79	86	25,1	10	3	4	4	4,0	4,7
Ручная / Manual	90	98	27,4	5	3	0	3	5,6	5,4

Можно отметить, что в процессе хранения особенно на сорте Кинельское-63, происходило повышение посевных качеств при ручной уборке – энергия прорастания и всхожесть повысились на 2-3%, масса 1000 семян на 0,8 г и длина зародышевых органов составляла на 0,4-1,0 см выше, чем в день уборки.

Закключение. Изучение состава микофлоры показало, что самым распространенным видом на семенах сорго зернового разных лет урожая является *Alternaria*. Ее встречаемость на семенах сорго была наибольшей и стабильной независимо от способа уборки. С меньшей частотой встречались грибы родов – *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*. Два рода микромицетов *Dipodascus*, *Cladosporium* выявлены исключительно на семенах сорго механизированной уборки.

Внутренняя инфекция семян сорго зернового грибами из родов *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium* травмирует проростки, угнетает их развитие и вызывает снижение посевных качеств семян. Ростки и корешки закручиваются в спираль и искривляются.

Одной из причин снижения посевных качеств семян сорго за годы исследований является их обрушивание и травмированность при уборке комбайном и послеуборочной обработке.

Анализ данных за 2021-2022 гг. показал, что, сравнивая данные влияния различных способов уборки сорго на посевные качества, установим, что максимальные значения отмечены при ручной уборке.

Энергия прорастания на сорте Рось колебалась при ручной уборке в диапазоне от 80,0% до 88%, у семян, убранных с помощью комбайна – от 74,0% до 76,0 %; всхожесть составляла соответственно от 88,0% до 94,0% и от 80,0% до 82,0%; масса 1000 семян составляла при ручной уборке – 24,4-26,3 г., у семян, убранных с помощью комбайна – 23,2-25,1 г.

На сорте Кинельское 63 энергия прорастания колебалась при ручной уборке в диапазоне от 85,0% до 87%, у семян, убранных с помощью комбайна – от 74,0% до 77,0 %; всхожесть составляла от 92,0% до 96,0% при ручной уборке, и от 80,0% до 82,0% у семян убранных комбайном; масса 1000 семян составляла при ручной уборке – 21,6-26,6 г., у семян убранных с помощью комбайна – 20,3-25,5 г.

За период хранения семян сорго происходит увеличение зараженности семян плесневыми грибами *Alternaria* sp., *Penicillium* и *Fusarium* sp. На сорте Рось у семян, убранных с помощью комбайна колебалась в диапазоне от 33 до 45%, при ручной уборке от 17 до 18%; на сорте Кинельское 63 соответственно при уборке комбайном от 10 до 13%, при ручной уборке в пределах 5%.

Оценка посевных качеств показала в 2021-2022 гг. за период хранения семян сорго следующее: на сорте Рось энергия прорастания и всхожесть повысились при ручной уборке по сравнению с уборкой комбайном на 15-18%, а масса 1000 семян в среднем на 1,1-1,7 г.; на сорте Кинельское 63 энергия прорастания и всхожесть повысились при ручной уборке по сравнению с уборкой комбайном в среднем на 11-14%, а масса 1000 семян в среднем на 1,1-2,3 г.

Для формирования селекционных партий семян с целью сохранения и полной реализации генетического потенциала целесообразнее использовать ручную уборку.

Conclusions. A study of the composition of mycoflora showed that the most common species on grain sorghum seeds of different harvest years is *Alternaria*. Its occurrence on sorghum seeds was greatest and stable regardless of the harvesting method. Fungi of the genera *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium* were encountered with less frequency. Two genera of micromycetes *Dipodascus* and *Cladosporium* were identified exclusively on mechanized sorghum seeds.

Internal infection of grain sorghum seeds with fungi from the genera *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium* injures the seedlings, inhibits their development and causes a decrease in the sowing quality of the seeds. The sprouts and roots twist into a spiral and bend.

One of the reasons for the decline in the sowing quality of sorghum seeds over the years of research is their collapse and injury during harvesting with a combine and post-harvest processing.

Data analysis for 2021-2022. showed that by comparing the influence of different methods of harvesting sorghum on sowing qualities, it was found that the maximum values were noted during manual harvesting.

The germination energy of the Ros variety fluctuated during manual harvesting in the range from 80.0% to 88%, for seeds harvested using a combine – from 74.0% to 76.0%; germination rates ranged from 88.0% to 94.0% and from 80.0% to 82.0%, respectively; The weight of 1000 seeds was 24.4-26.3 g for manual harvesting, and 23.2-25.1 g for seeds harvested using a combine.

On the Kinelskoye-63 variety, germination energy fluctuated during manual harvesting in the range from 85.0% to 87%, for seeds harvested using a combine – from 74.0% to 77.0%; germination rate ranged from 92.0% to 96.0% for manual harvesting and from 80.0% to 82.0% for seeds harvested by a combine; the weight of 1000 seeds was 21.6-26.6 g for manual harvesting, and 20.3-25.5 g for seeds harvested using a combine.

During the storage period of sorghum seeds, there is an increase in seed contamination with mold fungi *Alternaria* sp., *Penicillium* and *Fusarium* sp. On the Ros variety, seeds harvested using a combine ranged from 33 to 45%, with manual harvesting from 17 to 18%; on the Kinelskoye-63 variety, respectively, when harvested with a combine, from 10 to 13%, and when harvested manually, within 5%.

The assessment of sowing qualities showed in 2021-2022. during the storage period of sorghum seeds, the following is that on the Ros variety, germination energy and germination increased during manual harvesting compared to harvesting with a combine by 15-18%, and the weight of 1000 seeds increased by an average of 1.1-1.7 g; on the Kinelskoye-63 variety, germination energy and germination increased during manual harvesting compared to harvesting with a combine by an average of 11-14%, and the weight of 1000 seeds increased by an average of 1.1-2.3 g.

To form selection batches of seeds in order to preserve and fully realize the genetic potential, it is more advisable to use manual harvesting.

Библиографический список

- Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Хозяйственно-ценные признаки коллекционных образцов сорго зернового. Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 2 (18). С. 46-52.
- Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А., Лушпина О. А., Сухенко Н. Н., Игнатьева Н. Г. Питательность зернового сорго. Фермер Поволжье. 2018. № 8. С. 56-58.
- Богалов И. М., Кибальник О. П. Болезни сахарного сорго в условиях Северного Казахстана. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата: сборник материалов III Международной научно-практической конференции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Саратов: Амирит, 2023. С. 20-24.

4. Баглаева Л. Ю., Болдарева Л. Л. Влияние способов уборки на микрофлору и всхожесть семян сорго. Научные труды южного филиала Национального Университета Биоресурсов и Природопользования Украины «Крымский Агротехнологический Университет», серия: Сельскохозяйственные науки. 2011. № 137. С. 95-100.
5. Аммосов И. Н., Дондиков Ю. Ж., Дринча В. М. Развитие микрофлоры хранимого зерна и ее подавление в процессе хранения. Вестник АГАТУ. 2022. № 3 (7). С. 45-54.
6. Землянов А. Н., Землянов В. А. Технологический комплекс и его влияние на фитосанитарное состояние посевов сорго. Научный журнал КубГАУ. 2012. № 83 (09). С. 396-408.
7. Баглаева Л. Ю., Болдарева Л. Л. Взаимосвязь показателей эпифитной микрофлоры и посевных качеств семян сорговых культур. Научные труды южного филиала Национального Университета Биоресурсов и Природопользования Украины «Крымский Агротехнологический Университет», серия: Сельскохозяйственные науки. 2012. № 145. С. 68-75.
8. Балинова Т. А., Сангаджиев М. М., Казаков К. Г. и др. Особенности технологии выращивания сорговых культур в условиях сухостепной зоны Республики Калмыкия. Успехи современной науки. 2016. Т. 10. № 11. С. 111-117.
9. Панкрашова Ю. В., Хазов Р. В. Комплексная система защиты сорговых культур от болезней в Поволжье. Современные проблемы и перспективы развития Агропромышленного комплекса: сборник трудов конференции. Саратов, 2019. С. 120-125.
10. Шукис Е. Р., Шукис С. К. Пути решения проблемы качества семян сорговых культур в Алтайском крае. Кормопроизводство. 2019. № 5. С. 31-36.
11. Ефремова И. Г., Кибальник О. П., Семин Д. С., Куколева С. С., Старчак В. И., Пронько В. В. Эффективность гуминовых препаратов на посевах сахарного сорго в черноземной степи Саратовского Правобережья. Аграрный научный журнал 2020. № 5. С. 9-13.
12. Газзаева В. С., Базаева Л. М. Болезни суданской травы и меры борьбы с ними. Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов и магистрантов ФГБОУ ВО "Горский государственный аграрный университет": сборник статей. Владикавказ, 2021. С. 23-26.
13. Степанченко В. И., Бочкарева Ю. В., Степанченко Д. А. и др. Оценка коллекции сахарного сорго по хозяйственно-ценным признакам. АгроЭкоИнфо. 2023. № 5 (59). С. 9-13.
14. Каталог сортов, гибридов и линий сельскохозяйственных культур селекции Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН. Усть-Кинельский, 2023. 58 с.
15. Серебrenикова Е. С., Анисимова Л. В., Попов Е. В., Земеров А. Е. Качество зернового сорго. Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы XX междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 308-310.
16. Kovtunov V., Kovtunov N. The use of the Ugandan initial grain Sorghum forms in the hybridization of the Sorghum varieties for forage and food. E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. P. 13009.
17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1971. Вып. 2. С. 230-247.

References

1. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Economically valuable characteristics of collection samples of grain sorghum. Tauride Bulletin of Agrarian Science. 2019. No. 2 (18). Pp. 46-52.
2. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Lushpina O. A., Sukhenko N. N., Ignatieva N. G. Nutritional value of grain sorghum. Farmer of the Volga region. 2018. No. 8. Pp. 56-58.
3. Bogapov I. M., Kibalnik O. P. Diseases of sweet sorghum in the conditions of Northern Kazakhstan. Scientific support for sustainable development of the agro-industrial complex in conditions of climate aridization: Collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference of the Federal State Budgetary Institution RosNIISK "Rossorgho". Saratov: Amirit, 2023. Pp. 20-24.
4. Baglaeva L. Yu., Boldareva L. L. The influence of harvesting methods on the microflora and germination of sorghum seeds. Scientific works of the southern branch of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine "Crimean Agrotechnological University", series: Agricultural Sciences. 2011. No. 137. Pp. 95-100.
5. Ammosov I. N., Dondikov Yu. Zh., Drincha V. M. Development of microflora of stored grain and its suppression during storage. AGATU Bulletin. 2022. No. 3 (7). Pp. 45-54.
6. Zemlyanov A. N., Zemlyanov V. A. Technological complex and its impact on the phytosanitary condition of sorghum crops. Scientific journal of KubSAU. 2012. No 83 (09). Pp. 396-408.
7. Baglaeva L. Yu., Boldareva L. L. The relationship between the parameters of epiphytic microflora and the sowing qualities of sorghum seeds. Scientific works of the southern branch of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine "Crimean Agrotechnological University", series: Agricultural Sciences. 2012. No 145. Pp. 68-75.
8. Balinova T. A., Sangadzhiev M. M., Kazakov K. G., et al. Features of the technology of growing sorghum crops in the conditions of the dry steppe zone of the Republic of Kalmykia. Advances of modern science. 2016. V. 10. No. 11. Pp. 111-117.
9. Pankrashova Yu. V., Khazov R. V. Integrated system for protecting sorghum crops from diseases in the Volga region. Modern problems and prospects for the development of the agro-industrial complex: collection of conference proceedings. Saratov, 2019. Pp. 120-125.
10. Shukis E. R., Shukis S. K. Ways to solve the problem of quality of sorghum seeds in the Altai Territory. Feed production. 2019. No 5. Pp. 31-36.
11. Efremova I. G., Kibalnik O. P., Semin D. S., Kukoleva S. S., Starchak V. I., Pronko V. V. The effectiveness of humic preparations on sweet sorghum crops in the black soil steppe of the Saratov Right Bank. Agrarian scientific journal 2020. No. 5. Pp. 9-13.

12. Gazzaeva V. S., Bazaeva L. M. Diseases of Sudan grass and measures to combat them. Bulletin of scientific works of young scientists, graduate students and undergraduates of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Mountain State Agrarian University". Digest of articles. Vladikavkaz: 2021. Pp. 23-26.
13. Stepanchenko V. I., Bochkareva Yu. V., Stepanchenko D. A., et al. Evaluation of the collection of sweet sorghum based on economically valuable characteristics. AgroEcoInfo. 2023. No 5 (59). Pp. 9-13.
14. Catalog of varieties, hybrids and lines of agricultural crops selected by the Volga NIIS – branch of the SamSRC RAS. Ust-Kinelsky, 2023. 58 p.
15. Serebrennikova E. S., Anisimova L. V., Popov E. V., Zemerov A. E. Quality of grain sorghum. Modern problems of technology and technology of food production: materials of the XX International. scientific-practical conf. 2019. Pp. 308-310.
16. Kovtunov V., Kovtunov N. The use of the Ugandan initial grain Sorghum forms in the hybridization of the Sorghum varieties for forage and food. E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. P. 13009.
17. Methodology for state variety testing of agricultural crops. M.: Kolos. 1971. I. 2. Pp. 230-247.

Информация об авторах

Кинчарова Марина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в сфере селекции, семеноводства и семеноведения, 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, д. 76), ORCID 0000-0002-1987-8708, e-mail: potatolab@mail.ru

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур, 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, д. 76), ORCID 0000-0002-3171-153X, e-mail: opel0076687@yandex.ru

Author's information

Kincharova Marina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Innovative Technologies in the Field of Breeding, Seed Production and Seed Science, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Breeding and Seed Production named after. P. N. Konstantinova (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky village, Shosseynaya str. 76), ORCID 0000-0002-1987-8708, email: potatolab@mail.ru

Matvienko Evgeniy Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences, junior researcher at the laboratory of selection and seed production of cereals and sorghum crops, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Selection and Seed Production named after. P.N. Konstantinova (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky village, Shosseynaya str. 76), ORCID 0000-0002-3171-153X, e-mail: opel0076687@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-12

THE INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF FALLOW ON MOISTURE RESERVES AND SOIL DENSITY IN THE STEPPE ZONE OF THE SOUTHERN URALS

Skorokhodov V. Yu., Zenkova N. A., Skorokhodova E. N.

*Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center for Biological Systems and agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences"
Orenburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru

Received 11.02.2024

Submitted 15.05.2024

The study was carried out in accordance with the research work plan: "Development of scientifically based parameters of productivity of agrocenoses with improved quality indicators of crop production based on forage crops, the use of new technological methods for improving the types of crop rotations, the use of methods for long-term yield forecasting for farms in the steppe zone with different levels of intensification and specialization in conditions of a changing climate and increasing anthropogenic impact (No. FNWZ-2022-0014)" for 2022-2024. FSBSI FSC BST RAS

Abstract

Introduction. Increasing moisture availability in rained conditions is an important task of agricultural production. The intensity of drought is associated with a deficit of soil moisture at the beginning of the plant growing season, resulting from a lack of precipitation in the winter-spring period. Snow retention is an effective method of accumulating moisture in the soil, allowing an additional accumulation of up to 30 mm. Target. Determination of the influence of various types of steam on moisture reserves and soil density in the unstable arid conditions of the Orenburg Cis-Urals. Object of study. Soil, various types of steam. **Materials and methods.** The soils of the experimental plot are southern carbonate medium-

thick heavy loamy chernozems with a humus content in the 0-30 cm layer of 3.2-4.0%. The experiment was launched in 2007-2022 at coordinates 51.775125° N. 55.306547° E east. The volumetric mass of the soil increases from 1.14 g per 1 cm³ to 1.39 g per 1 cm³ in the 0-150 cm layer. **Results and conclusions.** Over the course of 16 years of research, the largest amount of snow (36 cm) accumulated in the black fallow with the sowing of sunflower curtains. When applying soil protection technology in occupied fallows in non-steel green manure and soil protection (with summer sowing of Sudanese grass), a decrease in snow height with the option of using curtains sunflowers by 6.6 and 7.1 cm, respectively, is noted. In soil-protective fallow, soil density increases due to the growing season of the fallow crop to 1.19 g per 1 cm³. In the green manure fallow, due to the plowing of above-ground organic matter, decompaction is noted and the volumetric mass was 1.13 g per 1 cm³. In green manure fallow, the soil moisture content in a meter layer is higher than in soil-protective fallow by 23 mm and black fallow by 32 mm, due to its assimilation of autumn precipitation. Due to the large reserves of water formed in the snow, it is recommended to use the black fallow option for sowing durum spring wheat. The research was carried out in accordance with the research plan for 2022-2024. FSBSI FSC BST RAS (FNWZ-2022-0014).

Keywords: types of steam, volumetric mass of soil, snow depth, water supply, snow density, percentage of moisture absorption.

Citation. Skorokhodov V. Yu., Zenkova N. A., Skorokhodova E. N. The influence of different types of fallow on moisture reserves and soil density in the steppe zone of the Southern Urals. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 104-112 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-12.

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 631:631.4(470.56)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПАРА НА ВЛАГОЗАПАСЫ И ПЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

Скороходов В. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Зенкова Н. А., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Скороходова Е. Н., соискатель

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

Исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательской работы:
«Разработка научно-обоснованных параметров продуктивности агроценозов с улучшенными показателями качества продукции растениеводства на основе кормовых культур, применения новых технологических приёмов совершенствования видов севооборотов, использования методов долгосрочного прогнозирования урожайности для хозяйств степной зоны с различным уровнем интенсификации и специализации в условиях изменяющегося климата и нарастающего антропогенного воздействия (№ FNWZ-2022-0014)» на 2022-2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН

Актуальность. Повышение влагообеспеченности в богарных условиях является важной задачей сельскохозяйственного производства. Интенсивность засухи связана с дефицитом почвенной влаги в начале вегетации растений, образовавшимся из-за недобора осадков в зимне-весенний период. Снегозадержание – эффективный приём накопления влаги в почве, позволяющий дополнительно накопить до 30 мм. **Цель.** Определение влияния различных видов пара на влагозапасы и плотность почвы в нестабильно засушливых условиях Оренбургского Предуралья. **Объект исследования.** Почва, различные виды пара. **Материалы и методы.** Почвы опытного участка – чернозёмы южные карбонатные среднесуглинистые с содержанием гумуса в слое 0-30 см – 3,2-4,0%. Опыт закладывался в 2007-2022 годах в координатах 51.775125° с.ш. 55.306547° в.д. Объёмная масса почвы увеличивается с 1,14 г на 1 см³ до 1,39 г на 1 см³ в слое 0-150 см. **Результаты и выводы.** В течение 16 лет исследований наибольшее количество снега (36 см) накапливалось в чёрном пару с посевом кулис из подсолнечника. При применении почвозащитной технологии в занятых парах в безкулисных сидеральных и почвозащитном (с летним посевом суданской травы) отмечается снижение высоты снега с вариантом использования подсолнечников кулис на 6,6 и 7,1 см соответственно. В почвозащитном пару увеличивается плотность почвы за счёт вегетации парозанимающей культуры до 1,19 г на 1 см³.

В сидеральном пару за счёт запашки наземной органической массы отмечается разуплотнение и объёмная масса составила 1,13 г на 1 см³. В сидеральном пару содержание почвенной влаги в метровом слое выше, чем в почвозащитном на 23 мм и чёрном на 32 мм, за счёт усвоения им осенних осадков. В виду больших запасов образовавшейся воды в снеге в варианте чёрного кулисного пара рекомендуется использование его под посев яровой твёрдой пшеницы.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2022-2024гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2022-0014).

Ключевые слова: виды пара, объёмная масса почвы, высота снега, запас воды, плотность снега, процент усвоения влаги.

Цитирование. Скороходов В. Ю., Зенкова Н. А., Скороходова Е. Н. Влияние различных видов пара на влагозапасы и плотность почвы в условиях степной зоны Южного Урала. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 104-112. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-12.

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 зоне неустойчивого увлажнения регулирование водного режима направлено на максимальное накопление влаги в почве и рациональное её использование. В последние годы, в сложившихся условиях дефицита почвенной влаги и атмосферных осадков необходимо уделять внимание сохранению и накоплению её особенно в осенне-зимний и весенний периоды. Пополнение запасов почвенной влаги за счёт осенних дождей не всегда существенно в связи с сосредоточиванием в верхнем (0-30 см) слое. Более глубокое промачивание почвы до 1-1,5 метров происходит за счёт зимних осадков [1, 2]. Неравномерность в поступлении осадков по временам года для всех земледельцев является проблемой. Повышение влагообеспеченности в богарных условиях важная задача сельскохозяйственного производства [3]. Важным условием повышения продуктивности сельскохозяйственных растений является плотность почвы. Снижение урожайности на уплотнённой почве сопровождается пониженным количеством продуктивной влаги. При уменьшении плотности почвы повышается расход воды за счёт испарения [4, 5]. В зоне с недостаточным увлажнением для получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур необходим приём снегонакопления [6]. Интенсивность засухи связана с дефицитом почвенной влаги в начале вегетации растений, образовавшимся из-за недобора осадков в зимне-весенний период. В этой связи необходим приём, способствующий максимальному накоплению зимних и весенних осадков. Данный приём способствует влагонакоплению и сокращению глубины промерзания почвы [7]. Так, треть выпавших осадков в Волгоградской области приходится на зимнее время года [8]. В условиях Оренбуржья в холодное время выпадает от 30 до 45% годовой суммы осадков в виде снега, в связи с этим снегозадержание – эффективный приём накопления влаги в почве. За счёт него можно накопить дополнительно до 30 мм продуктивной влаги. Эффективным приёмом задержания снежных масс является посев кулис. В чёрном пару кулисы из подсолнечника способствуют увеличению снежного покрова по сравнению с почвозащитным и сидеральным, что создаёт благоприятные условия для повышенной влагообеспеченности растений в среднем на 11,4 см [9, 10, 11, 12]. Преимущество кулисных растений относительно технологии без кулис проявляется в малоснежные зимы, так как значительно увеличивается влагозапас почвы. По данным Безенчукской опытной станции урожайность озимой пшеницы по кулисному пару превысила на 3,4 ц/га. По многолетним данным НИИСХ Юго-Востока, на участках снегонакопления (посев кулис) урожайность озимой пшеницы выше на 5,6, озимой ржи – на 4,1 яровой пшеницы на 3,4 ц/га, чем на контрольных [13, 14]. По данным Оренбургского НИИСХ при посеве кулис на паровом поле прибавка урожайности озимой ржи составила 3,9 ц с 1 га в виду использования дополнительно накопленных 25-30 мм почвенной влаги [15]. Влажность и плотность почвы – это два показателя, которые между собой взаимосвязаны. При более высоком уровне увлажнения плотная почва всегда лучше крошится, чем рыхлая, и в этой связи установлена оптимальная объёмная масса, создающая благоприятные условия по водно-воздушному режиму почвы. Для чернозёмов обыкновенных среднего Поволжья она составляет от 1,0 до 1,2 г/см³, южных и тёмно-каштановых – от 1,2 до 1,3 г/см³ [16, 17]. В Оренбургской области на южных чернозёмах плотность почвы составляет 1,14-1,22 г/см³ [18].

При увеличении плотности почвы происходит снижение скорости фильтрации и, по мере уплотнения, водопроницаемость снижается практически до нуля [19, 20, 21]. Основную роль в формировании урожайности сельскохозяйственных культур занимает агрофизическое состояние пахотного слоя почвы (объёмная масса), влияющее на влагообеспеченность растений [22, 23].

Цель работы – определить влияние различных видов пара на влагозапасы и плотность почвы в засушливых условиях Оренбургского Предуралья.

Материалы и методы. Полевые опыты закладывались на стационаре отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий» в селе Нежинка Оренбургского района Оренбургской области с 2007 по 2022 год в координатах 51.775125°с.ш.55.306547°в.д.

Почва опытного участка – чернозём южный карбонатный среднесуглинистый. Чернозём южный характеризуется содержанием гумуса в пахотном (0-30 см) слое почвы 3,2-4,0%, общего азота – 0,20-0,31%, общего фосфора – 0,14-0,22%, доступного фосфора – 1,5-2,5 мг и обменного калия – 30-38 мг на 100 г почвы, pH почвенного раствора – 7,0-8,1. Сумма поглощённых оснований не превышает 39,1 мг/экв. на 100 г сухой почвы.

Объёмная масса почвы увеличивается с 1,14 г на 1 см³ в пахотном до 1,39 г на 1 см³ в слое 0-150 см. Наименьшая полевая влагоёмкость в слоях почвы 0-100 см, 0-150 см составляет 297 мм (27,1%) и 389 мм (25,4%) соответственно.

Максимальная мощность снежного покрова в середине марта достигает 45-50 см, средняя глубина промерзания почвы составляет 65-83 см.

Главным недостатком климатических условий в Оренбургской области являются четко выраженная засушливость и резкая континентальность, проявляющаяся не только в значительных сезонных, но и суточных колебаниях температур. Большая годовая амплитуда температуры воздуха (разность между средними температурами самого тёплого и холодного месяцев) является одним из показателей континентальности климата. Погодные условия в наших засушливых условиях играют основную роль в росте, развитии и формировании урожая, а в некоторые острозасушливые годы урожайность сельскохозяйственных культур полностью зависит от них. В такие годы уровень агротехники, система обработки, предшественники сводятся практически к нулю. В вариантах с чёрным и сидеральным парами проводилась глубокая отвальная вспашка. В почвозащитном пару после уборки суданской травы применялась плоскорезная обработка. Кулисы из подсолнечника высевались сеялкой СЗП – 3,6 трёхстрочно, с заделкой на глубину 6 см с последующим прикатыванием.

Запасы воды в снеге определяли в конце зимы – начале весны перед массовым снеготаянием. Толщину снежного покрова измеряли в 50-ти точках, плотность в 10-ти точках деланки весовым снегомером. Объёмная масса почвы определялась методом режущих колец по Н. А. Качинскому в 5-ти кратной повторности послойно с интервалом в 5 см на глубину пахотного слоя 0-30 см в срок, совпадающий с определением влажности почвы. Общая пористость почвы определялась расчётным методом [24].

Схема опыта. 1. Пар чёрный кулисный под озимые; 2. Пар чёрный кулисный под яровую твёрдую пшеницу; 3. Пар почвозащитный (занятый летним посевом суданской травы); 4. Пар сидеральный (овёс + горох). Опыт заложен в четырёхкратной повторности. Размер опытных деланок составил 14,4 x 90 м.

Результаты исследования. В результате 16 лет исследований в вегетационный период отмечается среднее увеличение температуры воздуха на 1,9°C в сравнении с среднемноголетними данными. По месяцам среднее превышение температурного режима составляет: в мае 1,6, июне 1,4, июле 1,3, августе 2,5°C (таблица 1). Сумма осадков за вегетационный период в среднем за годы исследований составила 115 мм, что меньше нормы на 40 мм. Число засушливых дней в среднем за годы исследований превышает среднемноголетнее значение на 14 дней (в период вегетации полевых культур).

Эффективным приёмом накопления снега в засушливых условиях является посев кулисных растений. В наших исследованиях в течение 16 лет наибольшее количество снега (36,7 мм) в чёрном пару под яровую твёрдую пшеницу с высевом кулис из подсолнечника (таблица 2).

Таблица 1 – Показатели температуры воздуха, выпавших осадков и числа суховейных дней (2007-2022 годы)

Table 1 – Indicators of air temperature, precipitation and number dry days (2007-2022)

Среднее значение / Medium	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C					Осадки, мм / Precipitation, mm					Число сухо- вейных дней / Number of dry days
	за месяц / per month										
	Май / May	Июнь / June	Июль / July	август / August	сред- нее за вегета- цию / Vegetati on average	Май / May	Июнь / June	Июль / July	август / August	среднее за веге- тацию / Vegetation average	
За годы исследо- ваний / Over the years of research	16,6	21,1	23,2	22,5	21,0	35	28	29	23	115	70
Многолет- нее / Perennial	15,0	19,7	21,9	20,0	19,1	41	39	41	34	155	56
Отклонение / Deviation	+1,6	+1,4	+1,3	+2,5	+1,9	-6	-11	-12	-11	-40	+14

Таблица 2 – Высота снега, плотность и запасы воды в нём в зависимости от вида пара 2007-2022 гг.

Table 2 – Snow height, density and water reserves in it, depending from the type of fallow 2007-2022

Показатели / Indicators	Пар чёрный / Black fallow		Пар занятый / fallow used	
	под озимые / for winter crops	под яровую твёрдую пшеницу / for spring durum wheat	Почвозащитный / soil-protective	Сидеральный / green manure
Высота снега, см / Snow height, cm	34,3±9,77*	36,7±11,5*	29,6±7,93*	30,1±9,11*
Плотность снега, г/м³ / Snow density, g/m³	0,23±0,07*	0,23±0,07*	0,23±0,08*	0,21±0,07*
Запасы воды в снеге, мм / Water reserves in snow, mm	85,9±38,8*	95,2±54,1*	73,4±28,8*	69,0±25,6*

Примечание: * – Ошибка средней арифметической

Note: * – Error of the arithmetic mean

В сидеральном и почвозащитном парах высота снега ниже, чем в чёрном, на 6,6 и 7,1 см с запасами воды в снеге на 26,2 и 21,8 мм соответственно. Плотность снега по всем вариантам практически одинакова и составляла 0,23 г/на 1 см³.

На рисунке приведена температура воздуха (°C) и осадки в (мм) вегетационного периода за годы проведения опытов.

Графическое изображение рисунка 1 подтверждает, что выпавшие осадки оказывают влияние на величину температуры воздуха в период вегетации сельскохозяйственных культур. Так на примере 2010 и 2021 года отмечается наименьшее количество выпавших осадков, кривая температуры воздуха имеет радиально противоположное высокое значение.

В почвозащитном пару после скашивания суданской травы оставляли кулисы из её растений (не скошенным). В варианте с почвозащитным паром отмечалось снижение высоты снега и запасов воды в нём ввиду хрупкости и ломкости кулис из растений суданской травы, заметно уступающей мощным растениям подсолнечника. В сидеральном пару при проведении отвальной вспашки складывались аналогичные варианты с почвозащитным паром по показателям высоты снега и объёма воды в нём (таблица 3).

После схода снега объёмная масса на всех вариантах составила 1,17 г/см³. Влажность почвы весной в чёрном пару под озимые составляла 156 мм в метровом слое почвы, в почвозащитном и сидеральном парах 143 и 139 мм соответственно.

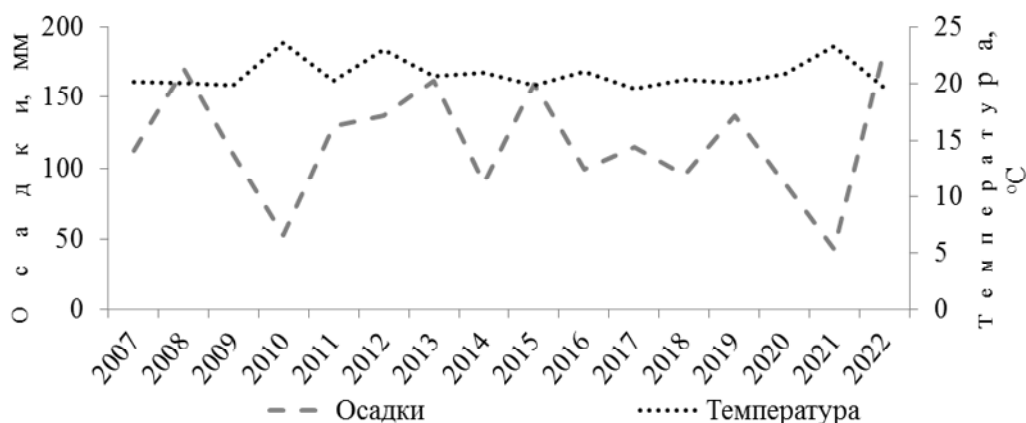


Рисунок 1 – Температура воздуха и количество выпавших осадков за периоды вегетации (2007-2022 годы)

Figure 1 – Air temperature and amount of precipitation during the growing season (2007-2022)

Таблица 3 – Объёмная масса и влажность почвы в вариантах парового поля (среднее за 2007-2022 гг.)

Table 3 – Volumetric mass and soil moisture in fallow field options (average for 2007-2022)

Показатели и срок определения / Indicators and period of determination	Варианты опыта / Experience options							
	Пар чёрный / Black fallow				Пар занятый / fallow used			
	под озимые / for winter crops		под яровую твёрдую пшеницу / for spring durum wheat		Почвозащитный / soil-protective		Сидеральный / green manure	
	Vm	W	Vm	W	Vm	W	Vm	W
После схода снега в начале парования / After the snow melts at the beginning of the fallow	1,17	156	1,17	153	1,17	143	1,17	139
Перед посевом суданской травы / Before sowing Sudan grass	1,15	145	1,15	147	1,15	137	1,18	125
Перед посевом озимых / Before sowing winter crops	1,14	132	1,14	136	1,19	101	1,13	98
Перед уходом пашни в зиму / Before arable land goes into winter	1,16	90	1,01	124	1,05	81	1,03	113
НСР ₀₅	Vm	0,61						
	W	19,79						

Примечание: Vm – объёмная масса (г/см³) в слое 30 см.

W – влажность почвы в слое 0-100 см (мм)

Note: Vm is the bulk mass (g/cm³) in the 30 cm layer, W is the soil moisture in the 0-100 cm (mm) layer

Перед посевом суданской травы объёмная масса почвы снижается в результате проведения механической обработки (культивации) и составляет 1,15 г/см³ по всем вариантам опыта. В этот период отмечается снижение почвенной влаги во всех вариантах за счёт испарения.

Перед посевом озимых культур в варианте с чёрным паром объёмная масса составила 1,14 г на 1 см³. В сидеральном пару за счёт заделки органической массы отмечается разуплотнение, и объёмная масса составила 1,13 г на 1 см³. В опыте с почвозащитным паром увеличивается плотность почвы за счёт вегетации суданской травы до 1,19 г/см³. Наименьшая

(98 мм) влажность почвы наблюдалась в сидеральном пару, что объясняется использованием почвенной влаги при формировании сидеральной массы (овёс + горох). Снижение влажности происходило и в почвозащитном пару. В данном случае почвенная влага расходовалась на рост и развитие суданской травы и в период определения составила 101 мм в метровом слое почвы. Перед уходом пашни в зиму показатель объёмной массы почвы снижался по всем вариантам опыта за счёт проведения основной обработки почвы (за исключением чёрного пара под озимыми) $1,16 \text{ г/см}^3$. Влажность метрового слоя почвы по вариантам опыта в чёрном пару под яровую твёрдую пшеницу и в почвозащитном пару практически одинакова (разница в пределе 9 мм). В сидеральном пару содержание почвенной влаги в метровом слое выше, чем в почвозащитном на 23 мм и чёрном на 32 мм за счёт усвоения им осенних осадков.

Заключение. В зоне с недостаточным увлажнением для получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур необходим приём снегонакопления, за счёт которого можно дополнительно накопить до 30 мм продуктивной влаги. В течение 16 лет исследований наибольшее количество снега (36 см) накапливалось в чёрном пару (с высевом кулис) под яровую твёрдую пшеницу. При применении почвозащитной технологии в занятых парах, в бескулисных сидеральных и почвозащитных (с летним посевом суданской травы) отмечается снижение высоты снега относительно вариантов с использованием подсолнечниковых кулис на 6,6 и 7,1 см соответственно. В сидеральном пару отмечается разуплотнение за счёт запашки органической массы (объёмная масса $1,13 \text{ г на } 1 \text{ см}^3$), в почвозащитном напротив, увеличивается плотность почвы до $1,19 \text{ г на } 1 \text{ см}^3$ в результате вегетации парозанимающей культуры.

Conclusions. In an area with insufficient moisture, in order to obtain sustainable crop yields, snow accumulation is necessary, due to which it is possible to additionally accumulate up to 30 mm of productive moisture. Over the course of 16 years of research, the largest amount of snow (36 cm) accumulated in black fallow (with sowing wings) under spring durum wheat. When applying soil-protective technology in occupied fallows, in uncultivated green manure and soil-protective fallows (with summer sowing of Sudanese grass), a decrease in snow depth is observed relative to options using sunflower fallows by 6.6 and 7.1 cm, respectively.

In the green manure fallow, decompaction is observed due to the plowing of organic matter (volume mass of $1.13 \text{ g per } 1 \text{ cm}^3$), in the soil conservation fallow, on the contrary, the soil density increases to $1.19 \text{ g per } 1 \text{ cm}^3$ as a result of the vegetation of the fallow crop.

Библиографический список

1. Астафьев В. Л., Иванченко П. Г., Машигин С. Л. Эффективный способ накопления влаги зимних осадков и технические средства для его осуществления. АПК России. 2016. Т. 75. № 1. С. 59-64.
2. Щутиков Н. В., Пигорёв И. Я. Снегозадержание и формирование водного режима сельскохозяйственных земель Центрального Черноземья России. Вестник Курской ГСХА. 2022. № 3. С. 39-47.
3. Гребенщиков А. М. Влияние применения различной основной обработки на запасы продуктивной влаги в агрочернозёмах. Агрохимия. 2019. № 8. С. 40-47.
4. Кузина Е. В. Влияние основной обработки почвы на запасы продуктивной влаги и агрофизические свойства чернозёма выщелоченного. Пермский аграрный вестник. 2016. № 3 (15). С. 35-44.
5. Бойков В. М., Старцев С. В., Воротников И. Л., Павлов А. В. Анализ зависимости влагонакопления почвы от способа основной обработки. Аграрный научный журнал. 2021. № 4. С. 61-64.
6. Замятин С. А., Свечников А. К. Влияние культур севооборотов на плотность почвы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 1 (27). С. 97-106.
7. Кулик А. В., Гордиенко О. А. Условия формирования поверхностного стока талых вод на склоновых землях юга Приволжской возвышенности. Почвоведение. 2022. № 1. С. 44-54.
8. Немцев С. Н., Шарипова Р. Б. Оценка агрометеорологических показателей атмосферных засух и урожайности зерновых культур в изменяющихся условиях регионального климата. Известия Самарской государственной академии. 2020. № 1. С. 10-17.
9. Гамзиков Г. П. Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы. Земледелие. 2022. № 1. С. 3-9.
10. Кафтан Ю. В., Скороходов В. Ю., Митрофанов Д. В., Жижин В. Н. Влияние разных видов пара на засорённость посевов яровой твёрдой пшеницы. Повышение эффективности сельскохозяйственного производства в степной зоне Южного Урала: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург, 2012. С. 148-152.
11. Берзин А. И., Полосина В. А. Повышение эффективности чистых и сидеральных паров в лесостепных и степных районах Сибири. Вестник КрасГАУ. 2018. № 3 (138). С. 39-44.
12. Zhang S. T., Zhang J. Z., Liu Y., et al. Effects of farmland vegetation row direction on overland flow hydraulic characteristics. Hydrology research. 2018. Vol. 49- /ss. 6. Pp. 1991-2001.
13. Силиванова В. Ю. Влагообеспеченность яровых культур в севообороте с различной обработкой почвы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 154-161.
14. Барабанов А. Т., Кулик А. В. Эффективность применения кулис из сельскохозяйственных растений в системе стокорегулирующих лесополос //Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: наука и Высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 2-7.

15. Максютон Н. А., Жданов В. М., Скороходов В. Ю., Митрофанов Д. В., Кафтан Ю. В., Жижин В. Н. Сравнительная урожайность озимых культур в степной зоне Южного Урала. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (54). С. 30-33.
16. Азизов З. М., Архипов В. В., Имашев И. Г. Эффективность производства зерна в севооборотах засушливой степи Нижнего Поволжья. Аграрный научный журнал. 2021. № 2. С. 4-8.
17. Солодовников А. Н., Летучий А. В., Степанов Д. С., Шагиев Б. З., Миньков А. С. Динамика плотности почвы чернозёма южного при минимализации основной обработки. Земледелие. 2015. № 1. С. 5-7.
18. Кафтан Ю. В., Скороходов В. Ю., Зоров А. А., Жижин В. Н. Защита парового поля от эрозии на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья. Повышение эффективности сельскохозяйственного производства в степной зоне Южного Урала: материалы международной научно-практической конференции. 2012. С. 144-147.
19. Биккинина Л. М.-Х., Япаров И. А., Ломако Е. И. и др. Химическая мелиорация в условиях безотвальной системы основной обработки почвы. Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 5-8.
20. Шейн Е. В., Мазиров М. А., Михайлов Ф. Д., Мартынов А. И. Теплофизические характеристики почв – основа расчёта и управления тепловыми режимами почвы. Земледелие. 2016. № 6. С. 20-23.
21. Троц В. Б. Агроэкологическое влияние полейзащитных лесных полос. Известия Оренбургского ГАУ. 2016. № 4 (60). С. 189-192.
22. Милюткин В. А., Орлов В. В., Кнурова Г. В., Стеновский В. С. Эффективные технологические приёмы, в земледелии обеспечивающие оптимальное влагонакопление в почве и влагопотребление. Известия Оренбургского ГАУ. 2015. № 6 (56). С. 69-72.
23. Скороходов В. Ю. Влияние предшественников и удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в севообороте с короткой ротацией и при бессменном возделывании на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья. Региональная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов: сборник материалов. 2004. С. 99-100.

References

1. Astafiev V. L., Ivanchenko P. G., Mashigin S. L. An effective method for accumulating moisture from winter precipitation and technical means for its implementation. Agroindustrial Complex of Russia. 2016. V. 75. No 1. Pp. 59-64.
2. Shchutikov N. V., Pigorev I. Ya. Snow retention and formation of the water regime of agricultural lands in the Central Black Earth Region of Russia. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2022. No 3. Pp. 39-47.
3. Grebenshchikov A. M. The influence of the use of various basic treatments on the reserves of productive moisture in agrochernozems. Agrochemistry. 2019. No 8. Pp. 40-47.
4. Kuzina E. V. The influence of basic tillage on productive moisture reserves and agrophysical properties of leached chernozem. Perm Agrarian Bulletin. 2016. No 3 (15). Pp. 35-44.
5. Boykov V. M., Startsev S. V., Vorotnikov I. L., Pavlov A. V. Analysis of the dependence of soil moisture accumulation on the method of main cultivation. Agrarian scientific journal. 2021. No 4. Pp. 61-64.
6. Zamyatin S. A., Svechnikov A. K. The influence of crop rotation crops on soil density. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2023. No 1 (27). Pp. 97-106.
7. Kulik A. V., Gordienko O. A. Conditions for the formation of surface meltwater runoff on slope lands in the south of the Volga Upland. Soil science. 2022. No 1. Pp. 44-54.
8. Nemtsev S. N., Sharipova R. B. Assessment of agrometeorological indicators of atmospheric droughts and grain yields in measured conditions of regional climate. News of the Samara State Academy. 2020. No 1. Pp. 10-17.
9. Gamzikov G. P. Precision farming in Siberia: realities, problems and prospects. Agriculture. 2022. No 1. Pp. 3-9.
10. Kaftan Yu. V., Skorokhodov V. Yu., Mitrofanov D. V., Zhizhin V. N. The influence of different types of fallow on the infestation of spring durum wheat crops. Increasing the efficiency of agricultural production in the steppe zone of the Southern Urals: materials of the international scientific and practical conference. 2012. Pp. 148-152.
11. Berzin A. I., Polosina V. A. Increasing the efficiency of pure and green manure fallows in forest-steppe and steppe regions of Siberia. Bulletin of KrasGAU. 2018. No 3 (138). Pp. 39-44.
12. Zhang S. T., Zhang J. Z., Liu Y., et al. Effects of farmland vegetation row direction on overland flow hydraulic characteristics. Hydrology research. 2018. Vol. 49- /ss.6 Pp. 1991-2001.
13. Silivanova V. Yu. Moisture supply of spring crops in crop rotation with different tillage in the dry steppe zone of the Lower Volga region. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2018. No. 1 (49). Pp. 154-161.
14. Barabanov A. T., Kulik A. V. Efficiency of using curtains of agricultural plants in the system of runoff-regulating forest belts. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2019. № 1 (53). Pp. 2-7.
15. Maksyutov N. A., Zhdanov V. M., Skorokhodov V. Yu., Mitrofanov D. V., Kaftan Yu. V., Zhizhin V. N. Comparative yield of winter crops in the steppe zone of the Southern Urals. News of the Orenburg State Agrarian University. 2015. No 4 (54). Pp. 30-33.
16. Azizov Z. M., Arkhipov V. V., Imashev I. G. Efficiency of grain production in crop rotations of the arid steppe of the Lower Volga region. Agrarian scientific journal. 2021. No 2. Pp. 4-8.
17. Solodovnikov A. N., Letuchy A. V., Stepanov D. S., Shagiev B. Z., Minkov A. S. Dynamics of soil density in southern chernozem with minimal basic tillage. Agriculture. 2015. No 1. Pp. 5-7.
18. Kaftan Yu. V., Skorokhodov V. Yu., Zorov A. A., Zhizhin V. N. Protection of the fallow field from erosion on the southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals. Increasing the efficiency of agricultural production in the steppe zone of the Southern Urals: materials of the international scientific and practical conference. 2012. Pp. 144-147.
19. Bikkina L. M.-Kh., Yaparov I. A., Lomako E. I., et al. Chemical reclamation in conditions of a non-moldboard system of basic soil cultivation. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. V. 32. No 9. Pp. 5-8.
20. Shein E. V., Mazirov M. A., Mikhailov F. D., Martynov A. I. Thermophysical characteristics of soils - the basis for calculating and managing soil thermal regimes. Agriculture. 2016. No 6. Pp. 20-23.

21. Trots V. B. Agroecological influence of shelterbelts. News of the Orenburg State Agrarian University. 2016. No 4 (60). Pp. 189-192.

22. Milyutkin V. A., Orlov V. V., Knurova G. V., Stenovskiy V. S. Effective technological methods in agriculture that ensure optimal moisture accumulation in the soil and moisture consumption. News of the Orenburg State Agrarian University. 2015. No 6 (56). Pp. 69-72.

23. Skorokhodov V. Yu. The influence of predecessors and fertilizers on the yield of agricultural crops in crop rotation with short rotation and during continuous cultivation on the southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals. Regional scientific and practical conference of young scientists and specialists: Collection of materials. 2004. Pp. 99-100.

Информация об авторах

Скороходов Виталий Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1).

Зенкова Наталья Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий. Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1).

Скороходова Елена Николаевна, соискатель, отдел земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1).

Author's Information

Skorokhodov Vitaly Yurievich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, Gagarin Ave. 27/1).

Zenkova Natalia Anatolyevna, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the Department of Agriculture and Resource-saving Technologies, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, Gagarin Ave. 27/1).

Skorokhodova Elena Nikolaevna, applicant, department of agriculture and resource-saving technologies, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, Gagarin Ave. 27/1).

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-13

REGULARITIES OF WATER CONSUMPTION OF SPRING WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF MELIORATION IN THE DRY-STEPPE TRANS-VOLGA REGION

Tarbaev V. A.

"Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov"
Saratov, Russian Federation

Corresponding author E-mail: tarbaev1@mail.ru

Received 11.03.2024

Submitted 15.05.2024

Summary

The article presents the results of a study of the patterns of water consumption of spring wheat under the influence of irrigation, forest plantings and fertilizers.

Abstract

The relevance of the study is determined by the need to identify the complex effect of irrigation regime, forest strips and doses of mineral fertilizers on the productivity of spring wheat cultivated in the dry steppe. The purpose of the study is to study the water consumption of spring wheat under the influence of forest belts and mineral fertilizers in the irrigated dry-steppe Trans-Volga region. **The object** of research is the fields of crop rotation with wheat in the Volga region. **Materials and methods.** The experiments were carried out according to a three-factor scheme, which took into account the effect of mineral fertilizers, irrigation and forest reclamation on the yield of spring wheat. Crop yield and water consumption were studied according to the methods of DOWN, VNIALMI, B. A. Dospekhov, A. N. Kostyakov. Regression and correlation analyses were performed according to B. A. Dospekhov using the programs Statistica, Scilab and the MS Excel Table Processor Analysis Package. **Results and conclusions.** The growing seasons of the spring wheat yield study ranged from arid to humid, so different irrigation regimes were used in irrigation conditions: the irrigation rate ranged from 0 to 550 mm. Forest plantations without the use of fertilizers in conditions of natural moisture provide a large increase in the yield of spring wheat compared to irrigated areas: up to 28.9% in dry years, up to 3.0% in wet years. Average for 2018-2022 depending on the use of irrigation and forest strips, fertilizers increased the crop yield at a distance from the planting 1H to 11.1%, 5H – up to 17.0%. The coefficient of water consumption of spring wheat among forest belts with an increase in the dose of fertilizers decreases, regardless of the year's moisture level, in irrigated areas to 50.8%, in non-irrigated areas – to 38.7%. According to statistical analysis, crop productivity and water consumption are 87-98% associated with the use of fertilizers, irrigation and forest reclamation.

Keywords: spring wheat yield, spring wheat water consumption, forest belts, spring wheat irrigation, spring wheat cultivation conditions.

Citation. Tarbaev V. A. Regularities of water consumption of spring wheat under the influence of melioration in the dry-steppe trans-Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 112-122 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-13.

Author's contribution. The author 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 author declare no conflict of interest.

УДК 631.6:631.8:634.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕЛИОРАЦИЙ В СУХОСТЕПНОМ ЗАВОЛЖЬЕ

Тарбаев В. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова»

г. Саратов, Российская Федерация

Актуальность исследования определяется необходимостью выявления комплексного влияния режима орошения, лесных полос и доз минеральных удобрений на продуктивность яровой пшеницы, возделываемой в сухой степи. **Цель** исследования – изучение водопотребления яровой пшеницы под влиянием лесных полос, минеральных удобрений в орошаемом сухостепном Заволжье. **Объект** исследования – поля севооборота с пшеницей ВолжНИИГиМ. **Материалы и методы.** Эксперименты проводились по трехфакторной схеме, где учитывалось влияние минеральных удобрений, оросительной и лесной мелиорации на урожайность яровой пшеницы. Урожайность и водопотребление культуры изучались согласно методикам ВНИОЗ, ВНИАЛМИ, Б. А. Доспехова, А. Н. Костякова. Регрессионный и корреляционный анализы выполнены по Б. А. Доспехову с использованием программ Statistica, Scilab и «Пакет анализа табличного процессора MS Excel». **Результаты и выводы.** Вегетационные периоды исследования урожайности яровой пшеницы были от засушливых до влажных, поэтому в условиях орошения применялся различный режим поливов: оросительная норма составляла от 0 до 550 мм. Лесные насаждения без применения удобрений в условиях естественного увлажнения обеспечивают большую прибавку урожайности яровой пшеницы по сравнению с орошаемыми участками: в засушливые годы до 28,9%, во влажные – до 3,0%. В среднем за 2018-2022 гг. в зависимости от применения орошения и лесных полос удобрения увеличивали урожайность культуры на расстоянии от насаждения 1Н до 11,1%, 5Н – до 17,0%. Коэффициент водопотребления яровой пшеницы среди лесных полос с увеличением дозы удобрений уменьшается независимо от увлажнения года на орошении до 50,8%, на неорошаемых участках – до 38,7%. Согласно статистическому анализу урожайность и водопотребление культуры на 87-98% связаны с применением удобрений, оросительных и лесных мелиораций.

Ключевые слова: урожайность яровой пшеницы, водопотребление яровой пшеницы, лесные полосы, орошение яровой пшеницы, условия возделывания яровой пшеницы.

Цитирование. Тарбаев В. А. Закономерности водопотребления яровой пшеницы под влиянием мелиораций в сухостепном Заволжье. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 112-122. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-13.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Многие ученые (И. П. Кружилин, Г. В. Ольгаренко, Н. Н. Дубенок, П. В. Тарасенко и др. [1, 2, 3, 4]) убеждены, что одним из основных сдерживающих факторов повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий являются недостаточное развитие комплексных мелиораций. В этой связи определенный научный интерес представляет совместное использование в составе комплексных мелиораций регулярного орошения и лесных полос, которые, по мнению ряда ученых (К. Н. Кулик, А. С. Рулев, П. Н. Проездов, Д. А. Маштаков и др. [5, 6]), защищают возделываемые культуры в сухостепных районах РФ от засух и суховеев. Кроме того, лесные полосы улучшают эколого-мелиоративное состояние агролесоландшафтов, микроклимат [6] и водный режим почвы [7, 8]. Многофункциональное влияние лесных полос также благоприятно отражается на росте, развитии

сельскохозяйственных культур и на повышении их продуктивности [8, 9]. В этой связи отдельные работы [6] направлены на исследование многообразных природных и антропогенных факторов (агролесомелиоративных приемов, атмосферных осадков, орошения, минеральных удобрений и др.), повышающих продуктивность сельскохозяйственных культур. Результатом этих исследований является выявление регрессионно-корреляционных взаимосвязей природно-антропогенных факторов с ростом, развитием и продуктивностью возделываемых культур, что позволяет исследователям отражать данные закономерности в виде множественных регрессий, построенных в виде отдельных трехмерных сечений.

Исследования, направленные на выявление закономерностей водопотребления и урожайности основных сельскохозяйственных культур под воздействием оросительных и лесных мелиораций в засушливых и острозасушливых районах РФ, весьма актуальны и позволяют развивать мелиоративную науку.

Материалы и методы. Объект исследований включает 4 варианта опыта (I-IV), направленного на изучение степени влияния оросительных и лесных мелиораций на плодородие почв и урожайность культур (рисунок 1).

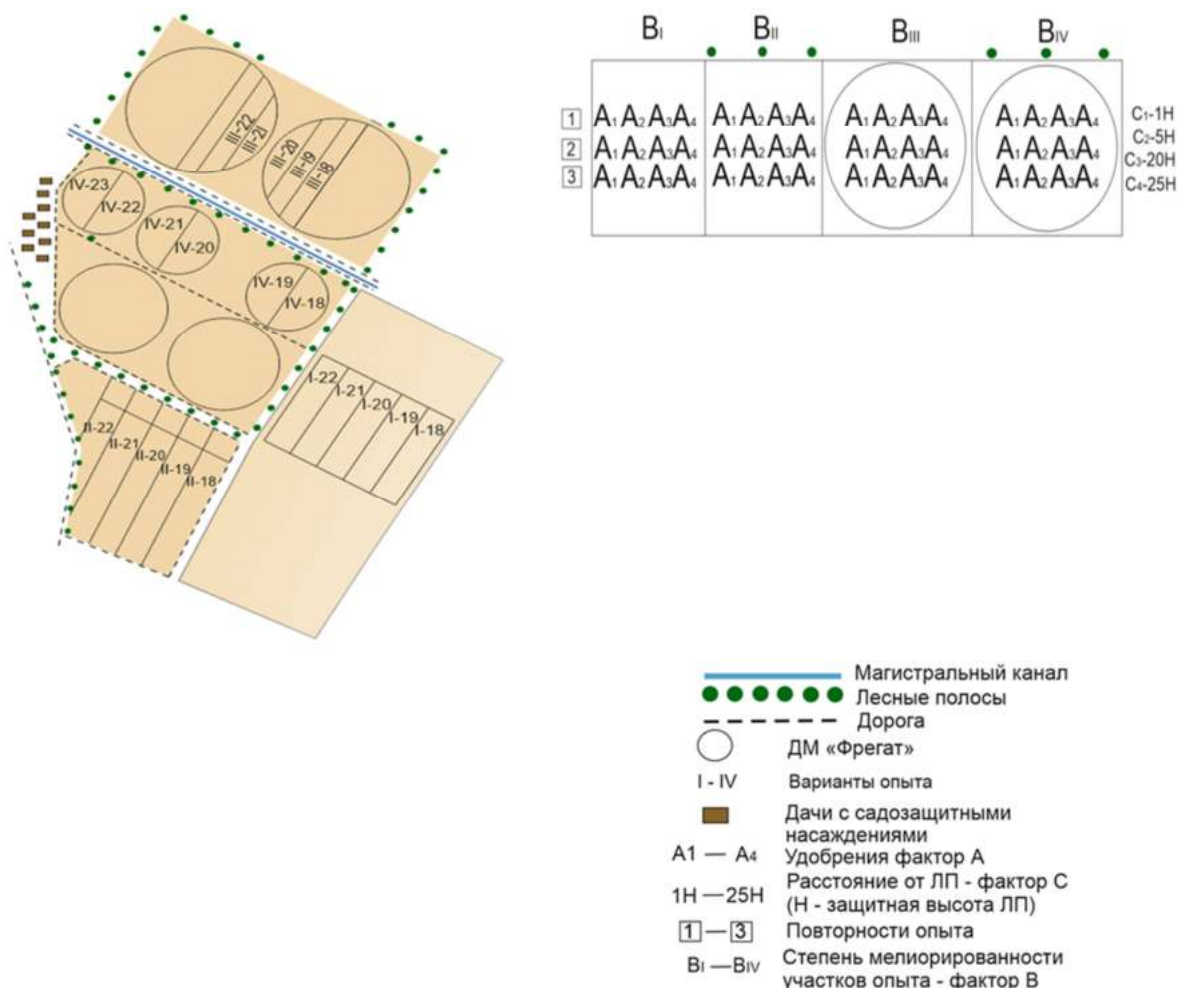


Рисунок 1 – Схема трехфакторного опыта по яровой пшенице на полях ВолжНИИГиМ
Figure 1 – Scheme of a three-factor experiment on spring wheat in the fields VolzhNIIGiM

Варианты опыта включают в себя:

I. Неорошаемое поле без лесных полос.

II. Неорошаемое поле с лесными полосами плотной конструкции (ПП4), шириной 18 м, возрастом 62 года (II-22, вариант и год исследований – 2022). Тип посадки древесно-теневой. Главная порода – вяз приземистый Вп (*Ulmus pumila* L.), сопутствующая – ясень ланцетный Ял (*F. racinus lanciolata*).

III. Орошаемое поле без лесных полос.

IV. Орошаемое поле с лесными полосами и идентичной характеристикой опыта II (ПП1, ПП2, ПП3). Орошение производится дождевальными машинами «Фрегат» различной модификации. Вода для орошения культур севооборота забирается из магистрального оросительного канала расходом $18 \text{ м}^3/\text{с}$.

Цель исследования – выявление закономерностей водопотребления и урожайности яровой пшеницы мягкой сорта «Фаворит» под воздействием оросительных, лесных мелиораций и агрохимических приемов в сухостепном Заволжье.

Задачи исследования:

– определение урожайности и коэффициента водопотребления яровой пшеницы на вариантах опыта;

– получение регрессионных уравнений и корреляционных связей урожайности и водопотребления яровой пшеницы в зависимости от применения орошения, лесных полос и минеральных удобрений.

Методика исследования базировалась на принципах организации теории и практики оросительной мелиорации, классической агролесомелиорации, растениеводства, стандартных и частных методов планирования и проведения экспериментов. Урожайность культур определялась согласно методике Б. А. Доспехова [11], ВНИАЛМИ [12], водопотребление по А. Н. Костякову [13].

Эксперимент проведен на посевах яровой пшеницы мягкой (сорт Фаворит) по трехфакторной схеме:

фактор А – удобрения: $A_1 - 0$ (без удобрений); $A_2 - N_{30}P_{20}K_{10}$ (60 кг/га); $A_3 - N_{45}P_{30}K_{15}$ (90 кг/га); $A_4 - N_{75}P_{50}K_{25}$ (150 кг/га);

фактор В – мелиорированность агроландшафта в виде сочетания орошения (Ор) и лесных полос плотной конструкции (ЛП): V_I – без Ор и ЛП; V_{II} – без Ор с ЛП; V_{III} – Ор без ЛП; V_{IV} – Ор с ЛП;

фактор С – расстояние от ЛП и четыре варианта расстояний, Н в единицах защитной высоты ЛП: $C_1 - 1Н$; $C_2 - 5Н$; $C_3 - 20Н$; $C_4 - 25Н$. Повторность опыта – трехкратная. Учетная площадь делянок 100 м^2 . Метод размещения вариантов – систематический последовательный (рисунок 1).

Полив яровой пшеницы – поддержание умеренного уровня водообеспечения при предполивном пороге влажности расчетного слоя почвы 0,5 м 70% наименьшей влагоемкости (НВ) в течение вегетационного периода. В течение 5 лет исследования яровая пшеница поливалась до 5 раз за вегетационный период поливной нормой $500 \text{ м}^3/\text{га}$. В среднесухой 2018 г. – 4 полива (июнь – 1, июль – 2, август – 1); в сухой 2019 г. – 5 поливов (июнь – 2, июль – 2, август – 1); в средний 2020 г. – 3 полива (май – 1, июнь – 1, июль – 1); в средневлажный 2021 г. – 2 полива (июнь – 1, июль – 1); во влажный 2022 г. – поливы не проводились. Отсутствие поливов в мае 2018 г. и 2019 г. объясняется достаточным количеством влагозапасов в почве, обеспеченных многоснежными зимами с водными запасами снега в пределах 200 мм (высота снега 60 см). Весне 2020 г. предшествовала очень малоснежная зима с мощностью снежного покрова 8 см.

Дисперсионный анализ рассчитан по методике А. М. Гатаулина [14]. Регрессия и корреляция выполнены по Б. А. Доспехову [11] с использованием компьютерных программ Statistica, Scilab, «Пакет анализа табличного процессора MS Excel».

Результаты исследования обсуждение, анализ. Теоретический аспект повышения урожайности яровой пшеницы в зависимости от применения орошения, лесных полос, удобрений, заключается в использовании аналитического и экспериментального методов, на основе которых построены множественные регрессии (1, 2):

$$Y = b_0 + b_1U + b_2B + b_3H + b_4UB + b_5UH + b_6BH + b_7UBH, \quad (1)$$

$$K = b_0 + b_1U + b_2B + b_3H + b_4UB + b_5UH + b_6BH + b_7UBH, \quad (2)$$

где: Y – урожайность яровой пшеницы, т/га;

K – коэффициент водопотребления, $\text{м}^3/\text{т}$;

U – доза минеральных удобрений, кг/га;

B – степень влияния орошения, лесных полос (ЛП) и удобрений на урожайность яровой пшеницы, $B = 1-2,5$;

H – расстояние от ЛП, измеряемое в единицах защитной высоты ЛП;

$b_0 - b_7$ – коэффициенты множественной регрессии.

Вегетационному периоду возделывания яровой пшеницы 2018 г. предшествовали очень влажное лето 2017 г. и очень многоснежная зима 2017–2018 гг. с водными запасами снега 200 мм, обеспечивающих содержание влаги в слое почвы 1 м накануне сева на уровне более 70% наименьшей влагостойкости (НВ).

Урожайность яровой пшеницы в естественных условиях среднесухого 2018 года, при гидротермическом коэффициенте (ГТК) = 0,45 без влияния лесных полос и удобрений составила 1,43 т/га.

Выращиванию яровой пшеницы 2019 г. предшествовали средневлажная осень 2018 г. и очень многоснежная зима 2018–2019 гг. со снегозапасами около 190 мм (высота снега 60 см), что обеспечило пополнение влагозапасов в метровом слое почвы перед севом пшеницы около 70% НВ. Урожайность этой культуры в сухой 2019 г. (ГТК = 0,30) составила 1,21 т/га.

Возделыванию яровой пшеницы 2020 г. предшествовали среднесухая осень 2019 г., очень малоснежная зима 2018–2019 гг. с толщиной снегового покрова 8 см (25 мм). Накануне сева влаги в метровом слое почвы было не более 55% НВ (близкое значение к влажности завядания), но благодаря осадкам среднего по увлажнению периода вегетации яровой пшеницы 2020 г. (ГТК = 0,70) урожайность культуры составила 2,05 т/га.

Периоду вегетации яровой пшеницы 2021 г. предшествовали средневлажная осень 2020 г., среднеснежная зима 2020–2021 гг. с запасами воды в снегу 70 мм (высота снега 20 см). К севу выпали осадки, обеспечивающие содержание влаги в почве до 68% НВ, и урожайность пшеницы в средневлажный 2021 г. (ГТК = 1,05) была 3,0 т/га.

Осень 2021 г. характеризовалась как средняя по увлажнению, а зима 2021–2022 гг. – среднеснежная с водными запасами снега 65 мм. Период вегетации яровой пшеницы был влажный (ГТК=1,2), способствующий формированию урожая культуры в условиях естественного увлажнения вне влияния лесных полос и без удобрений на уровне 4,05 т/га.

В условиях естественного увлажнения в опыте В_{II} (без орошения с лесными полосами) в засушливые годы увеличение дозы удобрений в 1,5 раза (с 60 до 90 кг/га) повысило урожайность яровой пшеницы на 1,7%, повышение дозы удобрений в 2,5 раза (с 60 до 150 кг/га) – соответственно на 3,1%. Те же варианты для влажных лет – 3,7% и 7,2%.

В условиях орошения в опыте В_{IV} (орошение с лесными полосами) в засушливые годы увеличение дозы удобрений в 1,5 раза (с 60 до 90 кг/га) увеличило урожайность яровой пшеницы на 4,9%, повышение дозы удобрений в 2,5 раза (с 60 до 150 кг/га) – соответственно на 17,5%. Те же варианты для средних лет – 4,6% и 19,3%, для влажных лет – 1,7% и 11,2%.

На орошении минеральные удобрения больше влияют на урожайность яровой пшеницы по сравнению с неорошаемыми участками: в засушливые годы до 14,4%, в средние – до 11,5%, во влажные – 4,0%, констатируя лучшую усвояемость туков с повышением влагообеспеченности культуры.

Лесные полосы плотной конструкции в условиях естественного увлажнения обеспечивают большую прибавку урожайности яровой пшеницы по сравнению с орошаемыми участками: без применения удобрений в засушливые годы – до 16,9%, во влажные – до 1,3%.

Максимальную прибавку урожайности лесные полосы обеспечивают на расстоянии 5Н от лесной полосы независимо от погодных условий, применения удобрений и орошения.

Наименьшая урожайность яровой пшеницы отмечена на расстоянии 1Н от лесной полосы, что связано с затенением культуры насаждением [11].

В среднем за 2018–2022 гг. в зависимости от применения орошения и лесных полос удобрения повышали урожайность яровой пшеницы на расстоянии от насаждения 1Н на 26,4%, 5Н – на 46,6% (таблица 1).

На орошаемых массивах в структуре суммарного водопотребления яровой пшеницы значительную роль играет оросительная норма, которая в засушливые годы составляет до 81,9%, осадки – до 5,7%, почвенная влага – до 12,4%.

Во влажные годы, когда необходимость орошения отпадает, водопотребление культуры становится идентичным условиям естественного увлажнения (таблица 2).

Структура суммарного водопотребления яровой пшеницы под влиянием лесных полос и удобрений на неорошаемых участках складывается в зависимости от увлажнения вегетационного периода культуры: в засушливые годы преобладает использованная влага из почвы до 83,3%, во влажные осадки – до 46,2% (таблица 3).

Таблица 1 – Урожайность яровой пшеницы (т/га) под влиянием лесных полос плотной конструкции, орошения и удобрений (в среднем за 2018-2022 гг.)

Table 1 – Spring wheat yield (t/ha) under the influence of dense forest belts, irrigation and fertilizers (average for 2018-2022)

Доза удобрений, кг/га (фактор А) / Fertilizer dose, kg/ha (factor A)	Расстояние от лесных полос, Н* (фактор С) / Distance from forest belts, Н* (factor C)			
	1Н	5Н	20Н	25Н
В _I – Без орошения и лесных полос, Н** (фактор В) / В _I – Without irrigation and forest belts, Н** (factor B)				
0	2,38	2,43	2,09	2,07
60	2,77	2,82	2,77	2,74
90	2,87	2,92	2,87	2,84
150	3,01	3,07	3,03	2,99
По средней дозе / By average dose	2,88	2,94	2,89	2,86
В _{II} – Без орошения с лесными полосами, Н = 8 м (фактор В) / В _{II} – Without irrigation with forest belts, Н = 8 m (factor B)				
0	2,62	2,81	2,72	2,61
60	3,06	3,31	3,17	3,09
90	3,20	3,44	3,31	3,18
150	3,34	3,57	3,43	3,29
По средней дозе / By average dose	3,20	3,44	3,30	3,19
В _{III} – Орошение без лесных полос, Н*** (фактор В) / В _{III} – Irrigation without forest belts, Н*** (factor B)				
0	4,11	4,16	4,07	4,06
60	5,13	5,18	5,13	5,13
90	5,46	5,53	5,44	5,40
150	4,91	5,97	5,89	5,85
По средней дозе / By average dose	5,50	5,56	5,49	5,46
В _{IV} – Орошение с лесными полосами, Н = 22м (фактор В) / В _{IV} – Irrigation with forest belts, Н = 22 m (factor B)				
0	4,29	4,48	4,32	4,30
60	5,44	5,56	5,46	5,42
90	5,70	5,93	5,73	5,67
150	6,29	6,57	6,40	6,35
По средней дозе / By average dose	5,81	6,05	5,86	5,81

Примечания: Н* – защитная высота лесных полос; Н** – расстояние до исследуемых вариантов соответствует опыту В_{II}; Н*** – расстояние до исследуемых вариантов соответствует опыту В_{IV}; I–IV – сочетание в факторе В орошения и лесных полос; Для трех факторов А, В, С – F_{факт} > F_{теор}; НСР₀₅ = 0,11 т/га (для частных различий).

Notes: Н* is the protective height of forest belts; Н** – the distance to the studied options corresponds to the experiment В_{II}; Н*** – the distance to the studied variants corresponds to the experiment В_{IV}; I–IV – combination of irrigation and forest belts in factor В; For the three factors А, В, С – F_{факт} > F_{теор}; НСР₀₅ = 0.11 t/ha (for partial differences).

В среднем удобрения уменьшают коэффициенты водопотребления пшеницы на орошении до 34,4% (таблица 2), в богарных условиях до 29,3% (таблица 3).

В засушливые вегетационные периоды на неорошаемой темно-каштановой почве доля участия осадков в водопотреблении пшеницы составляет до 17,8%, почвенной влаги – до 82,2%, во влажные соответственно – 41,5% и 58,5% (таблица 3).

На орошении в годы засухи возрастает доля участия поливов в водопотреблении культуры до 81,9%, а во влажные годы поливы могут не проводиться (таблица 2).

Коэффициенты водопотребления яровой пшеницы на орошении и в естественных условиях увлажнения увеличиваются с усилением засушливости лет до 96,0%, причем на богаре – до 27,7% (таблицы 2, 3).

Таблица 2 – Водопотребление яровой пшеницы под влиянием лесных полос (числитель) и без влияния лесных полос (знаменатель), удобрений на орошаемой темно-каштановой почве (опыты В_{III} и В_{IV})
Table 2 – Water consumption of spring wheat under the influence of forest strips (numerator) and without the influence of forest strips (denominator), fertilizers on irrigated dark chestnut soil (experiments В_{III} and В_{IV})

Доза удобрений, кг/га / Fertilizer dose, kg/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Осадки, мм / Precipitation, mm	Использованная почвенная влага (0,5м), мм / Used soil moisture (0.5 m), mm	Оросительная норма, мм / Irrigation rate, mm	Суммарное водопотребление, мм / Total water consumption, mm	Коэффициент водопотребления, м ³ /т / Water consumption coefficient, m ³ /t	Затраты оросительной воды, м ³ /т / Irrigation water consumption, m ³ /t
В засушливые годы 2018-2019 / In dry years 2018-2019							
0	4,54/4,00	38	83/69	550	671/657	1478/1642	1211/1375
60	5,74/5,02	38	83/69	550	671/657	1169/1309	958/1096
90	5,92/5,34	38	83/69	550	671/657	1133/1230	929/1030
150	6,65/5,78	38	83/69	550	671/657	1009/1137	827/952
Средняя доза / Average dose	6,10/5,38	38	83/69	550	671/657	1100/1221	902/1022
В средние годы – 2020, 2021 / In the middle years – 2020, 2021							
0	4,60/4,30	135	134/121	150	419/406	911/944	326/349
60	5,80/5,21	135	141/132	150	426/417	734/800	259/288
90	6,18/5,62	135	149/141	150	434/426	702/758	243/267
150	6,85/6,16	135	152/145	150	437/430	638/698	219/244
Средняя доза	6,28/5,66	135	147/139	150	432/424	688/749	239/265
В очень влажный год – 2022 / In a very wet year – 2022							
0	4,19/4,11	163	153/147	0	316/310	754/754	0
60	5,42/5,23	163	158/150	0	321/313	592/598	0
90	5,77/5,46	163	163/156	0	326/319	565/584	0
150	6,01/5,84	163	167/160	0	330/323	549/553	0
Средняя доза / Average dose	5,73/5,51	163	163/155	0	326/318	569/578	0

Составляющие водопотребления яровой пшеницы в условиях естественного увлажнения и на орошении зависят от складывающейся погоды в вегетационный период возделывания культуры и от осадков осенне-зимнего периода.

Лесные полосы усиливают эффективность применения удобрений: коэффициент водопотребления снижается в среднем до 11,0% на орошении (таблица 2) и до 28,0% в естественных условиях увлажнения (таблица 3).

Поверхности откликов для предложенных регрессионных моделей (3, 4, 5, 6) представляют собой сложные многомерные многообразия. Соответствующие поверхности на плоскости изобразить невозможно. Поэтому для отображения их основных особенностей построены отдельные трехмерные сечения (рисунки 2, 3, 4, 5).

Анализ показал, что наибольшее влияние на водопотребление и урожайность яровой пшеницы оказывают два фактора – доза удобрений и степень влияния орошения и лесных полос (рисунки 2, 3, 4, 5).

На это указывают уменьшение коэффициента детерминации и значительное увеличение среднего абсолютного отклонения и средней абсолютной ошибки в процентах при исключении соответствующего фактора из модели данных. Третьим по значимости фактором является расстояние от лесной полосы.

Таблица 3 – Водопотребление яровой пшеницы под влиянием лесных полос (числитель) и без влияния лесных полос (знаменатель), удобрений на не орошаемой темно-каштановой почве (опыты В_I и В_{II})
Table 3 –Water consumption of spring wheat under the influence of forest strips (numerator) and without the influence of forest strips (denominator), fertilizers on non-irrigated dark chestnut soil (experiments В_I и В_{II})

Доза удобрений, кг/га / Fertilizer dose, kg/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Осадки, мм / Precipitation, mm	Использованная почвенная влага (0,5м), мм / Used soil moisture (0.5 m), mm	Суммарное водопотребление, мм / Total water consumption, mm	Коэффициент водопотребления, м ³ /т / Water consumption coefficient, m ³ /t
В засушливые годы 2018-2019 / In the dry years 2018-2019					
0	1,80/1,38	38	176/168	214/206	1189/1492
60	1,98/1,48	38	183/173	221/211	1116/1426
90	2,02/1,52	38	189/179	227/217	1124/1428
150	2,05/1,54	38	195/186	233/224	1135/1454
Средняя доза / Average dose	2,02/1,51	38	189/179	227/217	1123/1437
В средние годы – 2020, 2021 / In the middle years – 2020, 2021					
0	3,11/2,62	135	215/202	350/337	1125/1286
60	3,57/2,95	135	221/209	356/344	997/1166
90	3,72/3,06	135	230/219	365/354	981/1157
150	3,90/3,20	135	239/228	374/363	959/1134
Средняя доза / Average dose	3,73/3,07	135	230/219	365/354	978/1153
В очень влажный год – 2022 / In a very wet year – 2022					
0	4,22/4,13	163	230/220	393/383	931/927
60	5,47/5,22	163	240/232	403/395	737/757
90	5,70/5,46	163	249/239	412/402	723/736
150	5,96/5,87	163	256/249	419/412	703/702
Средняя доза / Average dose	5,71/5,52	163	248/240	411/403	720/730

Заключение и рекомендации производству. Лесные, агрохимические и оросительные мелиорации оказывают комплексное влияние (коэффициенты детерминации связи водопотребления в зависимости от применения лесных полос, удобрений и орошения составляют $R^2=0,87-0,98$) на снижение коэффициента водопотребления яровой пшеницы до 46,5%, независимо от степени увлажнения почвы в течение вегетационного периода.

$$Y=4,38+0,0064 \times U - 0,0018 \times H^2, \quad R^2=0.98 \quad (3)$$

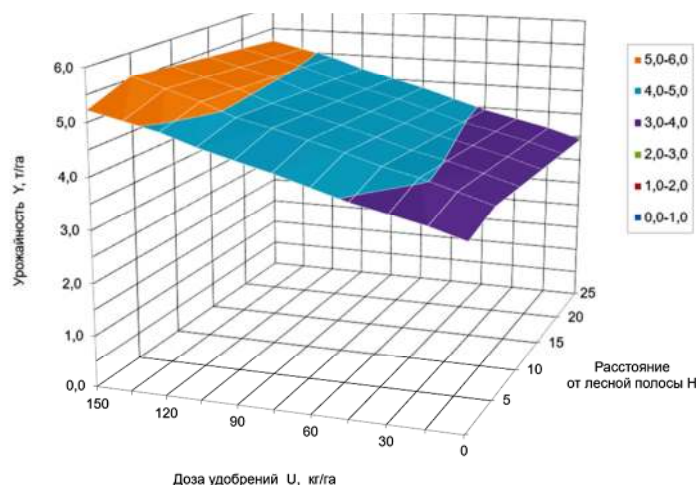


Рисунок 2 – Моделирование зависимости урожайности яровой пшеницы от дозы удобрений и расстояния до лесных полос

Figure 2 – Modeling the dependence of spring wheat yield on the dose of fertilizers and distance to forest belts

$$Y = 5,23 + 0,18 \times B + 0,29 \times H - 0,045 \times H^2, R^2 = 0,87 \quad (4)$$

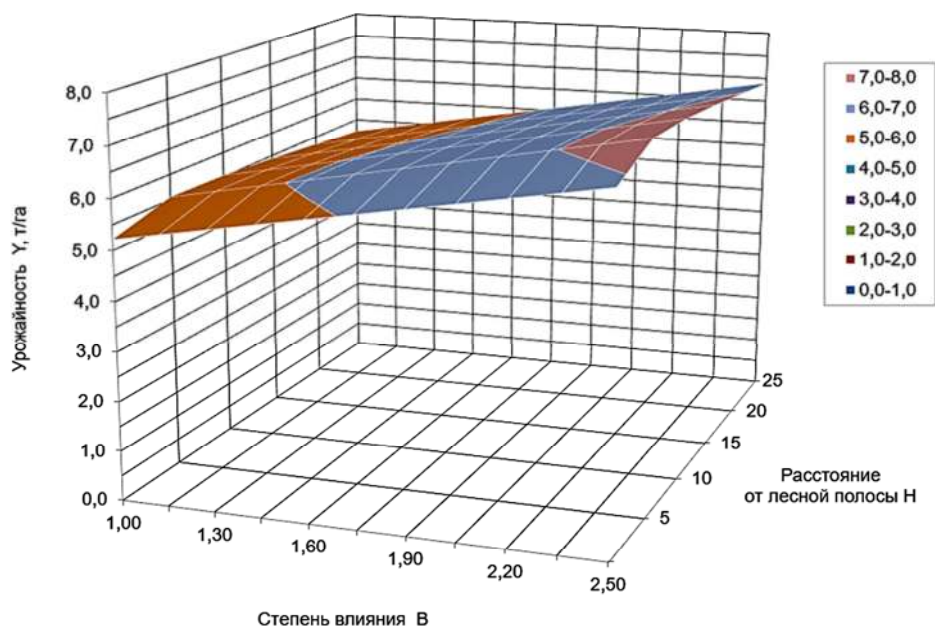


Рисунок 3 – Моделирование зависимости урожайности яровой пшеницы от степени влияния ЛП и орошения, при дозе удобрений 150 кг/га
Figure 3 – Modeling the dependence of spring wheat yield on the degree of influence of LP and irrigation, with a fertilizer dose of 150 kg/ha

$$K = 1084,7 - 4,28 \times U - 0,717 \times H^2, R^2 = 0,88 \quad (5)$$

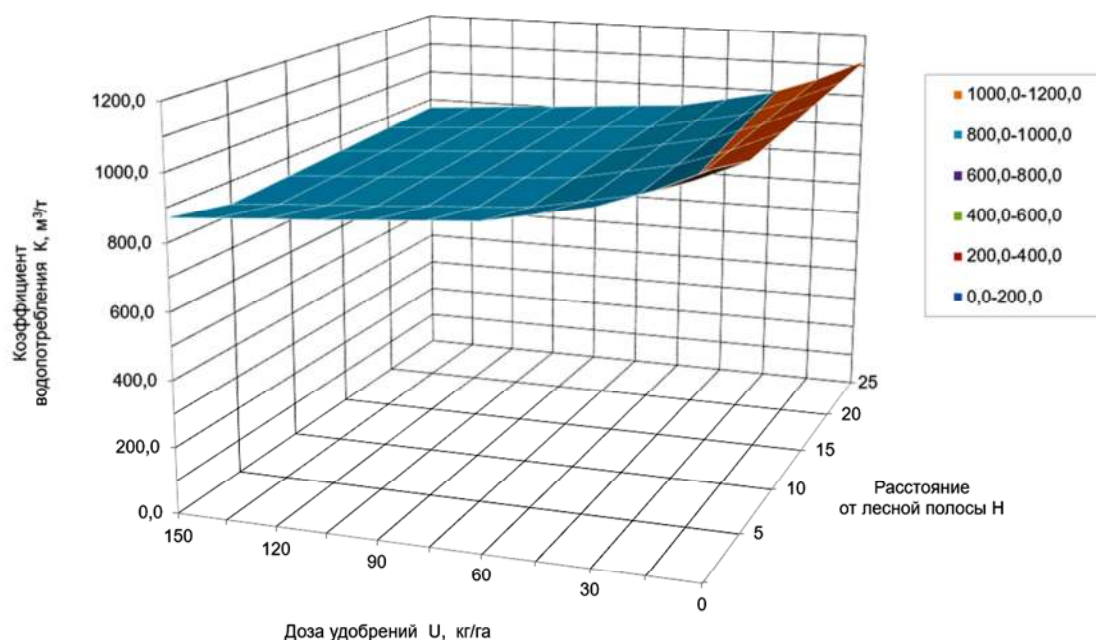


Рисунок 4 – Моделирование зависимости коэффициента водопотребления яровой пшеницы от дозы удобрений и расстояния до лесных полос
Figure 4 – Modeling the dependence of the water consumption coefficient of spring wheat on the dose of fertilizers and the distance to forest belts

$$K=884,5 - 20,06 \times B - 29,16 \times H = 0,58 \times H^2, R^2=0.98 \quad (6)$$

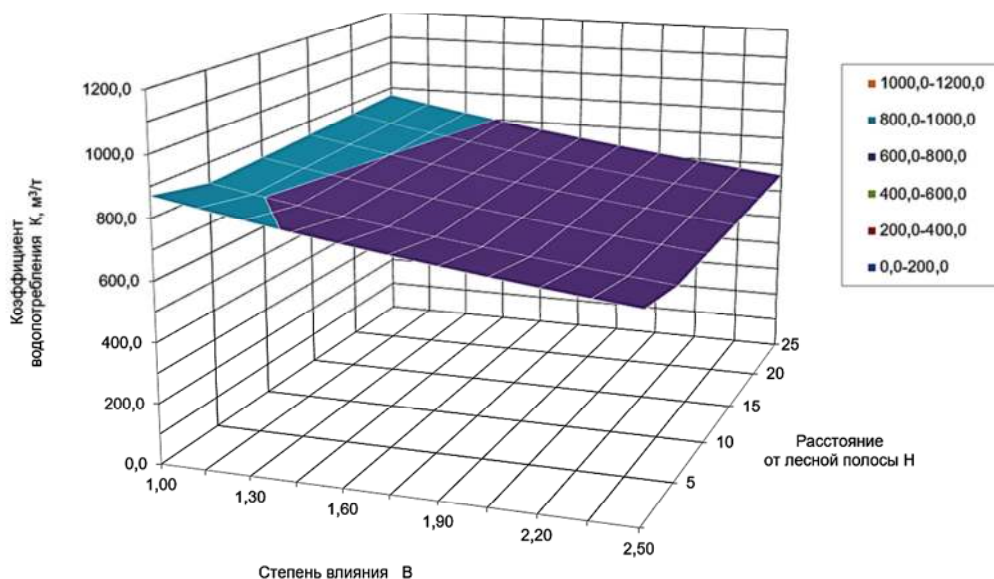


Рисунок 5 – Моделирование зависимости коэффициента водопотребления яровой пшеницы от степени влияния ЛП и орошения, при дозе удобрений 150 кг/га
Figure 5 – Modeling the dependence of the water consumption coefficient of spring wheat on the degree of influence of LP and irrigation, with a fertilizer dose of 150 kg/ha

Для производства рекомендуются дозы минеральных удобрений на орошении и во влажные годы на богаре $N_{75}P_{50}K_{25}$ (150 кг/га); при засушливой погоде в зависимости от осадков $N_{30}P_{20}K_{10}$ (60 кг/га) – $N_{45}P_{30}K_{15}$ (90 кг/га). Во влажные годы ($ГТК > 1,0$) – поливы не проводить.

Conclusions and recommendations for production. Forestry, agrochemical and irrigation reclamation have a complex effect (the coefficients of determination of the relationship between water consumption depending on the use of forest strips, fertilizers and irrigation are $R^2 = 0.87-0.98$) on reducing the coefficient of water consumption of spring wheat to 46.5%, regardless of the degree of soil moisture during the growing season. For production, doses of mineral fertilizers are recommended for irrigation and in wet years for rainfed $N_{75}P_{50}K_{25}$ (150 kg/ha); in dry weather depending on precipitation $N_{30}P_{20}K_{10}$ (60 kg/ha) – $N_{45}P_{30}K_{15}$ (90 kg/ha). In wet years ($HTC > 1,0$), do not irrigate.

Библиографический список

1. Кружилин И. П. Орошаемое земледелие в агроландшафтах степей. НИИОЗ, 1994. 206 с.
2. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 304 с.
3. Дубенок Н. Н. Теоретические основы обоснования комплексных мелиораций и управление мелиоративными режимами в агроландшафтах в степной и лесостепной зоне. Научно-агрономический журнал. 2023. № 4 (123). С. 16-21.
4. Тарасенко П. В., Тарбаев В. А. Повышение эффективности использования агроландшафтов Саратовской области. Саратов: Амирит, 2021. 205 с.
5. Кулик К. Н., Рулев А. С., Иванов А. Л., Свинцов И. П., Павловский Е. С. и др. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года. 2-е изд. перераб. и доп. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 36 с.
6. Проездов П. Н., Маштаков Д. А. Агролесомелиорация: монография. Саратов: Амирит, 2016. 472 с.
7. Рулёва О. В. Овечко Н. Н. Влияние лесных полос на показатель водопотребления ярового ячменя. Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 69-75.
8. Гришин П. Н., Пряжина С. И., Тарасенко П. В., Губов В. И. Эффективность снежной мелиорации в сухостепной, степной и лесостепной зонах. Известия Саратовского университета. Нов. Сер. Сер. Химия, биология. Экология. 2012. Т. 12. Вып. 4. С. 91-96.
9. Рулёва О. В., Овечко Н. Н. Закономерности развития сельскохозяйственных культур в богарных и орошаемых агролесоландшафтах. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2016. №4. С. 18-20.

10. Parihaar R. S., Bargali K. Status of an indigenous agroforestry system: Access trade in Kumaun Himalaya, India. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2015. No. 85 (3). Pp. 442-447.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
12. Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов под редакцией Е. С. Павловского, М. И. Долгиленова. М., 1985. 112 с.
13. Костяков А. Н. Основы мелиораций. М., 1960. 622 с.
14. Гатаулин А. М. Система прикладных статистически-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. М.: МСХА, 1992. Ч. 2. 192 с.

References

1. Kruzhilin I. P. Irrigated agriculture in the agro-landscapes of the steppes. VNIIOZ, 1994. 206 p.
2. The reclamation complex of the Russian Federation: inform. Edition. M.: FSBI "Rosinformagrotech", 2020. 304 p.
3. Dubenok N. N. Theoretical foundations of the justification of complex land reclamation and management of land reclamation regimes in agro-landscapes in the steppe and forest-steppe zone. *Scientific and agronomic journal*. 2023. No 4 (123). Pp. 16-21.
4. Tarasenko P. V., Tarbaev V. A. Improving the efficiency of using agricultural landscapes of the Saratov region. Saratov: Amirit, 2021. 205 p.
5. Kulik K. N., Rulev A. S., Ivanov A. L., Svintsov I. P., Pavlovsky E. S., et al. The strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period up to 2025. Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2018. 36 p.
6. Proezdov P. N., Mashtakov D. A. Agroforestry: monograph. Saratov: Amirit, 2016. 472 p.
7. Ruleva O. V., Ovechko N. N. The influence of forest strips on the indicator of water consumption of spring barley. *Forestry journal*. 2020. Vol. 10. No 1 (37). Pp. 69-75.
8. Grishin P. N., Pryakhina S. I., Tarasenko P.V., Gubov V. I. Effectiveness of snow reclamation in dry-steppe, steppe and forest-steppe zones. *Proceedings of the Saratov University. Chemistry, biology. Ecology*. 2012. Vol. 12. I. 4. Pp. 91-96.
9. Ruleva O. V., Ovechko N. N. Patterns of development of agricultural crops in rain-fed and irrigated agroforest landscapes. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2016. No 4. Pp. 18-20.
10. Parihaar R. S., Bargali K. Status of an indigenous agroforestry system: Access trade in Kumaun Himalaya, India. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2015. No 85 (3). Pp. 442-447.
11. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Book on Demand, 2012. 352 p.
12. Methodology of systematic studies of forest-agrarian landscapes edited by E. S. Pavlovsky, M. I. Dolgilevich. M., 1985. 112 p.
13. Kostyakov A. N. Fundamentals of land reclamation. M., 1960. 622 p.
14. Gataulin A. M. System of applied statistical and mathematical methods for processing experimental data in agriculture. M.: Publishing House of the Ministry of Agriculture, 1992. Part 2. 192 p.

Информация об авторах

Тарбаев Владимир Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Землеустройство и кадастры» Вавиловского университета (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, д. 4, стр. 3), ORCID: 0000-0002-0388-7706, e-mail: tarbaev1@mail.ru

Author's Information

Tarbaev Vladimir Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre, Vavilov University (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., building 4, unit 3), ORCID: 0000-0002-0388-7706, e-mail: tarbaev1@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-14

THE POSSIBILITY OF USING DOMESTIC VARIETIES OF LUPINE FOR THE PRODUCTION OF BEAN PASTE

Timoshenko E. S., Rutskaya V. I.

*The All-Russian Research Institute of Lupine – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology
Michurinsky, Bryansk District, Bryansk Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: lupin_mail@mail.ru

Received 28.02.2024

Submitted 03.05.2024

Abstract

Introduction. Lupine grain is considered a source of biologically valuable components that can positively affect many physiological and metabolic processes. The inclusion of this culture in the daily diet provides prevention of many diseases, such as diabetes mellitus, coronary heart disease, atherosclerosis, and obesity [1]. One of the food products, in the production of which lupine grain is used in large quantities, is bean paste – hummus. It is intended both for consumers focused on lean, athletic, vege-

tarian, and dietary menus, and for those who are interested in healthy eating. Bean paste is a source of plant-based protein, which is rich in essential amino acids, protein, carbohydrates with a low glyce-mic index, does not contain flavors and chemical preservatives. **Object.** The object of research is the grain of white and narrow-leaved lupine of domestic varieties. **Materials and methods.** The materials of research in the field of production of hummus from lupine, the appropriateness of using the grain of this crop for the preparation of bean paste are studied. The article provides a brief overview of the cur-rent state of the world's hummus production using lupine grain. The experience of manufacturing this product at one of the enterprises in the Russian Federation based on domestic varieties of white and narrow-leaved lupine species is described. **Results and conclusions.** The company Salads and Deli-cacies LLC tested lupine grain of domestic varieties, namely Michurinsky, Ghana and Belorozoy 144 as an ingredient for making bean paste. The trial product from lupine had a soft consistency, and ac-cording to organoleptic parameters, the bean taste was detected. The presence of some bitterness was noted, which may be due to the presence of an overestimated amount of alkaloids, or with the use of sesame seeds in the formulation of the paste, which can also give a taste of bitterness. In the near future, manufacturers plan to test peanut paste instead of sesame and work out the technology of mak-ing pasta with the inclusion of methods for cleaning raw materials from alkaloids in the production pro-cess. The first experience in this area has shown that for the production of a product based on lupine, it is necessary to choose raw materials with an alkaloid content of no more than 0.04%. The problem faced by Russian manufacturers, in particular the company Salads and Delicacies LLC, is the lack of a set of regulatory documents defining lupine as a food product. Currently, GOST R "Lupine food flour" is being developed and work is underway to include lupine in the Technical Regulations of the Customs Union 015/2011 "On Grain Safety" (TR CU 015/2011 "On Grain Safety") as a culture approved for use in the food industry of the Russian Federation.

Keywords: lupine, bean paste, hummus, healthy eating, lupine edible flour.

Citation. Timoshenko E. S., Rutsкая V. I. The possibility of using domestic varieties of lupine for the pro-duction of bean paste. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 122-130 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-14.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analy-sis 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 633.367:664.788

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ ЛЮПИНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БОБОВОЙ ПАСТЫ

Тимошенко Е. С., кандидат сельскохозяйственных наук
Руцкая В. И., кандидат биологических наук

ВНИИ люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»
пос. Мичуринский, Брянский район, Брянская область, Российская Федерация

Актуальность. Зерно люпина считается источником биологически ценных компонентов, которые могут положительно влиять на многие физиологические и метаболические процессы. Включения данной культуры в состав ежедневного рациона обеспечивает профилактику многих заболеваний, таких как сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца, атеросклероз, ожирение [1]. Одним из продуктов питания, в производстве которого в большом количестве используется зерно люпина, является бобовая паста – хумус. Она предназначена как для потребителей, ориентированных на постное, спортивное, вегетарианское, диетическое меню, так и для тех, кто интересуется здоровым питанием. Бобовая паста является источником белка на растительной основе, который богат незаменимыми аминокислотами, клетчаткой, углеводами с низким гликемическим индексом, не содержит ароматизаторов и химических консервантов. **Объект.** Объектом исследований является зерно белого и узколистного люпина отечественных сортов. **Материалы и методы.** Изучены материалы исследований в области производства хумуса из люпина, целесо-образности применения зерна данной культуры для приготовления бобовой пасты. В статье дан краткий обзор современного состояния мирового производства хумуса, с использованием зерна люпина. Описан опыт производства данного продукта на одном из предприятий в РФ на основе отечественных сортов белого и узколистного видов люпина. **Результаты.** Компания ООО «Салаты и Деликатесы» протестировала зерно люпина отечественных сортов, а именно Мичу-

ринский, Гана и Белорозовый 144, как ингредиента для приготовления бобовой пасты. Пробный продукт из люпина имел мягкую консистенцию, а по органолептическим показателям улавливался бобовый вкус. Отмечено присутствие некоторой горечи, что может быть связано с наличием повышенного количества алкалоидов или же с использованием в рецептуре пасты семян кунжута, который также может придавать привкус горечи. В ближайшее время производители планируют вместо кунжута протестировать арахисовую пасту и отработать технологию приготовления пасты с включением в производственный процесс приемов очистки сырья от алкалоидов. Первый опыт работы в этом направлении показал, что для производства продукта на основе люпина необходимо выбирать сырье с содержанием алкалоидов не выше 0,04%. Проблема, с которой столкнулись российские производители, в частности компания ООО «Салаты и Деликатесы», – это отсутствие пакета нормативных документов, определяющих люпин как пищевой продукт. В настоящее время ведется разработка ГОСТ Р «Люпиновая пищевая мука» и работа по включению люпина в Технический регламент Таможенного союза 015/2011 «О безопасности зерна» (ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна») как культуры, разрешенной к применению в пищевой промышленности РФ.

Ключевые слова: люпин, бобовая паста, хумус, здоровое питание, люпиновая пищевая мука.

Цитирование. Тимошенко Е. С., Руцкая В. И. Возможность использования отечественных сортов люпина для производства бобовой пасты. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 122-130. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-14.

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. С ростом численности населения мира возникает необходимость увеличения производства продуктов питания, богатых белком. Одним из перспективных направлений в пищевой промышленности является использование нетрадиционных видов сырья, имеющего повышенное содержание физиологически активных ингредиентов [2]. Потенциальным ресурсом качественного растительного белка обладают бобовые культуры. Среди них люпин является наиболее перспективным источником растительного белка [3]. Включение данной культуры в состав ежедневного рациона обеспечивает профилактику многих заболеваний, таких как сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца, атеросклероз, ожирение и др. [4]. По сравнению с другими зернобобовыми культурами зерно люпина содержит небольшое количество легкоусвояемых углеводов (3,5%) и является богатым источником минералов и биологически активных веществ, например, токоферолов, каротиноидов, фенольных кислот и флавоноидов [5]. Интерес к люпину обусловлен сбалансированным содержанием белка (34-46%), жира (8-10%), пищевых волокон (10,6-18,2%) и углеводов (15-22%) [6-8].

Для белка люпина характерен сбалансированный аминокислотный состав, благодаря чему он близок к идеальному белку. В зерне белого люпина установлено содержание 14 элементов. Среди макроэлементов преобладающими являются калий, фосфор и кальций. Микроэлементы зерна представлены в большинстве марганцем, железом, цинком и медью [9, 10]. Люпин является прекрасной альтернативой сои, не уступая ей в количественном и качественном содержании белка. В сое содержится больше сырого жира, чем в люпине [11], что очень важно для кормления животных. Что же касается питания для человека, то продукты с меньшей калорийностью более востребованы на рынке, следовательно, сырье с меньшим содержанием жира (зерно люпина) более рационально использовать в пищевой промышленности.

Материалы и методы. Изучены материалы исследований в области производства хумуса из люпина, целесообразности применения зерна данной культуры для приготовления бобовой пасты. Поиск источников данных по этой тематике осуществляли в научных электронных библиотеках и поисковых системах: eLIBRARY.RU, reestr.gossortrf.ru, базе данных PubMed. Поисковые запросы выполняли по следующим ключевым словам (на рус-

ском и английском языках): зерно люпина, хумус, бобовая паста, здоровое питание, функциональные продукты. Также использовали экспериментальные данные, полученные в компании ООО «Сид» («Салаты и деликатесы»).

Результаты и обсуждение. В настоящее время в европейских странах производятся продукты переработки люпина, такие как люпиновая мука, изоляты белков, отруби, концентраты, которые используются в пищевой промышленности [12, 13]. Отличительной особенностью зерна люпина является полное отсутствие в его составе глина и глюте-на, что особенно важно для людей с расстройствами пищеварения, продукты переработки семян белого люпина могут служить отличными компонентами для повышения питатель-ной ценности продуктов питания, в первую очередь таких, как хлебобулочные и мучные кондитерские изделия [14]. Ученые зарубежных стран и ряда научных организаций РФ при-знают, что люпин и продукты его переработки – это перспективное сырье для использова-ния в рецептурах пищевых продуктов [15, 16].

Одним из продуктов питания, в производстве которого в большом количестве ис-пользуется люпин, является бобовая паста – хумус. Два десятилетия назад большинство европейцев и американцев никогда не слышали о хумусе, не говоря уже о том, чтобы про-бовать его на вкус или включать в свой рацион. Сейчас хумус можно найти на прилавках примерно в 25% магазинов [17].

Так, например, производители продуктов «Brami» (<https://bramisnacks.com/products/lupini-bean-dip-variety-10oz>) в США и «Madama Oliva» (<https://www.madamaoliva.it/en/pate-and-hummus-line/>) в Италии выпускают широкий ассортимент бобовой пасты (рисунок 1), в том числе и на основе зерна люпина, которая в Америке называется дипом (dip – макать), в Европе спредом (spread – мазать), в ближневосточных странах – пастой.



Рисунок 1 – Ассортимент хумуса из люпина: а – США, б – Италия
Figure 1 – Lupine hummus assortment: a – made in USA, b – made in Italy

Производитель хумуса из люпина в Германии «LUPi LOVE» (<https://www.zwergenwiese.de/produkte/>) выпускает широкий спектр бобовой пасты (рисунок 2).



Рисунок 2 – Ассортимент хумуса из люпина (Германия)
Figure 2 – Lupine hummus assortment (Germany)

Линейка образцов хумуса состоит из семи вкусов: классический, острый с паприкой, с паприкой и петрушкой, с кедровыми орешками, с перцем пепперони, с грибами, с вялеными помидорами и прованскими травами, с маринованными огурчиками. Каждый покупатель по своим индивидуальным предпочтениям выбирает понравившийся вкус из представленного ассортимента. Упаковка представляет собой стеклянную тару с крышкой, снаружи картонная яркая дополнительная упаковка.

Хумус из люпина, производимого в Англии «Tarvi» (<https://tarwi.co.uk/collections/full-range/products/lummus-taster-pack>) и Португалии «Agrinemus» (<https://agrinemus.com/en/agrinemus-products/>), представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Ассортимент хумуса из люпина: а – Англия, б – Португалия
Figure 3 – Lupine humus assortment: a – made in England, b – made in Portugal

Аналогом люпина для приготовления бобовой пасты является нут (известен также под названиями нухат, нохат, гарбанзо (англ. garbanzobean), чикпис (англ. chickpeas) – закуска на основе нутового пюре). Хумус можно использовать и как отдельное блюдо, и как прекрасное добавление к различным бутербродам для завтраков. При употреблении хумуса быстро возникает ощущение сытости на продолжительное время (https://dzen.ru/a/X-r43I_sFCrpjonW). В настоящее время производители пасты достаточно консервативны в выборе рецептуры будущего продукта. Различные наименования отличаются между собой только используемыми специями [18, 19]. Восточная холодная закуска хумус не является продуктом, который входит в основную продуктовую корзину среднестатистического покупателя. Тем не менее многие потребители, в том числе и вегетарианцы, проявляют интерес к хумусу по ряду причин: однородная структура мусса; пряный сладковатый вкус семян нута и тахины (кунжутной пасты) в сочетании с разнообразием специй; содержание белка, схожего по составу с животным; большой ассортимент вкусового ряда [2]. Производители рекомендуют использовать хумус как гарнир или для приготовления бутербродов [20].

В последние годы спрос на хумус возрос благодаря его питательным свойствам. Он считается здоровой пищей, поскольку богат белком, пищевыми волокнами, ненасыщенными маслами и фолиевой кислотой [21, 22]. Согласно исследованиям [23, 24], употребление хумуса улучшило качество дневного рациона, снизило показатели аппетита (чувство голода, желание поесть) на 70% и концентрацию глюкозы в крови на 5% по сравнению с контрольной группой.

Петербургская компания ООО «СиД» («Салаты и деликатесы») уже 17 лет производит в России хумус из нута. Предлагаемый продукт в широком ассортименте представлен на рынке национальных продуктов питания и пользуется популярностью у различных социальных и возрастных групп. То, что обычно вызывает недоверие покупателей и настораживает, а именно содержание ароматизаторов и химических консервантов, таких как сорбат калия и бензоат натрия, в данных продуктах отсутствует.

Для оценки вкусовых качеств европейской бобовой пасты из люпина компания ООО «Салаты и деликатесы» заказала и приобрела пробную партию хумуса из Польши (https://aredi.ru/lyupin_khumus_mango_chili_180g_11999246442.html). В состав хумуса из лю-

пина в классическом образце входит люпин бланшированный 53%, масло оливковое, сок лимона, соль, чеснок гранулированный, петрушка, перец черный молотый. В состав хумуса второго образца включен люпин пряный и идентичные ингредиенты классического за исключением петрушки, но с добавлением перцев чили и красного сладкого молотого. Следующий образец хумуса приготовлен из средиземноморского люпина со специями классического с добавлением базилика, орегано и розмарина. В состав хумуса с манго и чили входит мякоть манго, перец чили и кориандр сушеный и все специи как в классическом рецепте, кроме петрушки. В следующих образцах хумуса, кроме специй классического образца, добавлены в одном из них томаты вяленые и порошок томатов сушеных, в другом – чеснок и огурцы.

Бобовую пасту из зерна люпина можно приготовить в домашних условиях:

1. Сортировка зерна люпина для исключения неликвидных образцов.
2. Мойка сырья.
3. Набухание сырья в ёмкости необходимого объёма в водопроводной воде в течение 12-13 часов с добавлением небольшого количества соды (менять воду 2-3 раза, для удаления горького вкуса).
4. Варка набухших зерен до их готовности.
5. Сваренные зерна промыть холодной водой. Залить чистой водой (менять воду 3-4 раза в течение 2 часов).
5. Охлажденное зерно размолоть до однородной консистенции с помощью блендера (готовность определяется визуально). Далее к размолотой люпиновой пасте – 450 г (из расчета 8 порций) добавить тахины – 30 мл; лимон – 1,5; зубчик чеснока – 1; молотый тмин – 5 г; натуральный йогурт – 100 г; оливковое масло первого отжима – 50 мл; поваренную соль; молотый черный перец и воду, причем воду добавлять постепенно, что позволит осветлить хумус и сделать его кремообразным.

Компания ООО «Сид» решила протестировать отечественные сорта люпина для производства бобовых паст и использовала сорта белого люпина Мичуринский и Гана, а также узколистый сорт люпина Белорозовый 144. Содержание алкалоидов в данных сортах составляло 0,043%, 0,076% и 0,029%, соответственно. Паштет из зерна люпина сочетал в себе все ингредиенты аппетитного и полезного хумуса. Это источник белка на растительной основе, полученный путем смешивания бобовых с масличными семенами. В данном случае смешали зерно люпина с жареными семенами кунжута (тахина). Полученный продукт имел кремовую, однородную и нежную текстуру и обладал насыщенным ароматом. Так как зерно белого люпина сорта Гана содержало повышенное содержание алкалоидов, то полученная из него паста по органолептическим показателям имела горьковатый вкус. Образец хумуса, приготовленный на основе люпина сорта Мичуринский, получился с насыщенным бобовым вкусом с отдаленным привкусом горечи (по мнению технологов – это особенность кунжута). При использовании зерна узколистого люпина сорта Белорозовый 144, приготовленная паста имела только характерный бобовый вкус, без привкуса горечи. В ближайшее время технологи планируют протестировать люпиновый хумус с заменой тахины арахисовой пастой.

Исходя из качества полученных экспериментальных образцов изучаемых продуктов можно сделать вывод, что при производстве хумуса с использованием зерна люпина необходимо выбирать сырье с содержанием алкалоидов на уровне 0,04% и ниже, или в технологический процесс дополнительно включать приемы, позволяющие снижать содержание алкалоидов в сырье до допустимого уровня.

Проблема, с которой сталкиваются российские производители пищевой продукции, в частности компания ООО «Сид», – это отсутствие пакета нормативных документов, позволяющих свободно работать с люпиновым сырьем. В 2024 году сотрудники института ВНИИ люпина – филиала ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» инициировали разработку ГОСТ Р «Люпиновая мука». Специалистами ФГБНУ «ФНЦ питания и биотехнологии» планируются проведение дополнительных исследований по уточнению критически значимого показателя безопасности – уточнение допустимого уровня содержания хинолизидиновых алкалоидов в люпиновом сырье, предназначенном для использования в приготовлении продуктов питания.

С соответствующими инстанциями ведется работа по включению люпина в Технический регламент Таможенного союза 015/2011 «О безопасности зерна» (ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна») как культуры, разрешенной к применению в пищевой промышленности РФ.

Тем временем производители совершенствуют технологию переработки зерна люпина и исследуют разработанные ранее технологические и химические приемы и способы снижения содержания алкалоидов в люпиновом сырье до допустимого уровня. Так, в настоящее время в Липецкой области работает сельскохозяйственный перерабатывающий кооператив «Виола», который занимается переработкой зерна белого люпина по разработанной ими технологии с использованием метода экструдирования и получают продукцию – экструдат. Люпиновая мука, полученная из данного экструдата, по органолептическим и химическим показателям обладает высоким качеством и соответствует требованиям для использования на пищевые цели. Разработаны и зарегистрированы технические условия на получаемую по данной технологии люпиновую муку. Продукцию комбината протестировали российские производители в изготовлении хлебобулочных изделий, тортов, протеиновых батончиков и хумуса.

Выводы. За последние годы значительно вырос практический интерес к люпину в пищевой промышленности. В ряде стран, таких как Англия, Германия, Португалия, Италия, США, выпускается широкий ассортимент бобовой пасты (хумус) на основе зерна люпина. Данный продукт богат незаменимыми аминокислотами, клетчаткой, углеводами с низким гликемическим индексом. Достоинством пасты является еще и то, что она не содержит ароматизаторов и химических консервантов. Российская компания ООО «СиД» начала осваивать технологию производства хумуса на основе отечественных сортов белого и узколистного люпина. Первый опыт работы в этом направлении показал, что для производства данного продукта необходимо выбирать сырье с содержанием алкалоидов на уровне 0,04% и ниже или в технологический процесс дополнительно включать приемы, позволяющие снижать содержание алкалоидов до допустимого уровня.

Conclusions. The practical interest to lupin for food production industry increased during last years. In some countries as England, Germany, Portugal, Italy and the USA the wide assortment of bean paste (hummus) based on lupin grain is produced. The product is rich for essential amino acids, fiber, carbohydrates with a low glycemic index. The quality of the pasta lies in the fact that it is free of flavors and chemical preservatives. The Russian company LLC “SiD” started to use a technology for hummus production based on the domestic white lupin varieties. The first experience in this direction demonstrated that in order to obtain this product it's necessary to select row materials with alkaloids' content at the level of 0.04% or less; or to include in the technological process the techniques that reduce the alkaloids' content to an acceptable level.

Библиографический список

1. Марков П., Марков Д., Воденичарова А. Полезные и диетические характеристики зернобобовых на основе медицинских доказательств. Наука. Мысль. 2016. № 12. С. 24-30.
2. Мельникова В. А., Чиж А. В. Обоснование возможности включения топинамбура в бобовую пасту «Хумус». Вестник молодежной науки. 2017. № 5 (12). С. 10.
3. Егорова Г. П., Шеленга Т. В., Проскурякова Г. И. Биохимическая характеристика семян люпина (*Lupinus L.*) из коллекции ВИР. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 3. Т. 31. С. 79-87.
4. Ariyaratna I. R., Karunaratne D. N. Use of chickpea protein for encapsulation of folate to enhance nutritional potency and stability. Food Bioprod. Proc. 2015. N 95. Pp. 76-82.
5. Arnoldi A., Boschin G., Zanoni C., Lammi C. The health benefits of sweet lupine seed flours and isolated proteins. J. Funct. Foods. 2015. No 18. Pp. 550-563.
6. Вишнякова М. А., Кушнарева А. В., Шеленга Т. В., Егорова Г. П. Алкалоиды люпина узколистного как фактор, определяющий альтернативные пути использования и селекции культуры. Вавиловский журнал генетики и селекции 2020. № 24 (2). С. 625-635.
7. Johnson S. K., Clements J., Villarino C. B. J., Coorey R. Lupins: Their Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In Gluten-Free Ancient Grains; Woodhead Publishing: Sawston, 2017. Pp. 179-221.
8. Егорова Г. П., Шеленга Т. В., Проскурякова Г. И. Биохимическая характеристика семян люпина (*Lupinus L.*) из коллекции ВИР. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 3. С. 79-87.
9. Агафонова С. В., Рыков А. И. Химический состав семян растения *Lupinus angustifolius L.* и *Lupinus albus L.* Калининградской области. Химия растительного сырья. 2021. № 3. С. 135-142.
10. Равков Е. В., Малышкина Ю. С. Качественный состав зерна перспективных сортообразцов белого люпина. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 99-102.

11. Артюхов А.И., Подобедов А. В. Люпин – важная составляющая часть стратегии самообеспечения России комбикормовым белком. Кормопроизводство. 2012. № 5. С. 3-4.
12. Lo B., Kasapis S., Farahnaky A. Lupine protein: Isolation and techno-functional properties, a review. Food Hydrocolloids. 2021. V. 112. Article 106318.
13. Lucas M. M., Stoddard F. L., Annicchiarico P., Frías J., Martínez-Villaluenga C., Sussmann D., Durant, M., Seger A., Zander P. M. Pueyo J. J. The future of lupine as a protein crop in Europe. Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. Pp.1-6.
14. Зубова Е. В., Залетова Т. В., Капитанова Г. И., Терехова О. Б., Родыгина Н. В.. Пищевая ценность белого люпина и перспективы его использования в производстве продуктов питания из растительного сырья. Аграрная наука. 2023. № 4. С. 137-144.
15. Зайцева Л. В., Юдина Т. А., Рубан Н. В., Бессонов В. В., Мехтиев В. С. Современные подходы к разработке рецептур безглютеновых хлебобулочных изделий. Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 1. С. 77-85.
16. Sedláková K., Straková E., Suchý P., Krejcarová J., Herzig I. Lupin as a perspective protein plant for animal and human nutrition – a review. Acta Vet. Brno. 2016. No 85. Pp. 165-175.
17. Evan J. Reister, Lynn N. Belote, Heather J. Leidy. The Benefits of Including Hummus and Hummus Ingredients into the American Diet to Promote Diet Quality and Health: A Comprehensive Review. Nutrients. 2020. No 12 (12).
18. Ногаяев В. О., Галиуллин А. А., Корягин Ю. В., Корягина Н. В. Разработка состава и формирование свойств хумуса с ферментированной молочной сывороткой. Сурский вестник. 2020. № 4 (12). С. 59-65.
19. Мельникова В. А., Чиж А. В. Исследование потребительского рынка «хумуса» в Калининграде и области. Вестник молодежной науки. 2018. № 4 (16). С. 11.
20. Нелюбина Е. Г., Бабнищев И. А. Полезные свойства хумуса для организма человека. Парадигма. 2022. № 5. С. 29-31.
21. Alvarez M. D., Fuentes R., Guerrero G., Canet W. Characterization of commercial Spanish hummus formulation: nutritional composition, rheology, and structure. Food Prop. 2017. No 20. Pp. 845-863.
22. Martínez-Preciado A. H., Ponce-Simental J. A., Schorno A. L., Contreras-Pacheco M. L., Michel C. R., Rivera-Ortiz K. G., Soltero J. F. A. Characterization of nutritional and functional properties of «Blanco Sinaloa» chickpea (Cicer arietinum L.) variety, and study of the rheological behavior of hummus pastes. Journal of Food Science and Technology. 2019. No 57 (5). Pp. 1-10.
23. Reister E. J., Leidy H. J. An Afternoon Hummus Snack Affects Diet Quality, Appetite, and Glycemic Control in Healthy Adults. Journal of Nutrition. 2020. V. 150 (8). Pp. 2214-2222.
24. Reister E. J., Belote L. N., Leidy H. J. The Benefits of Including Hummus and Hummus Ingredients into the American Diet to Promote Diet Quality and Health: A Comprehensive Review. Nutrients. 2020. V. 12 (12).

References

1. Markov P., Markov D., Vodenicharova A. Useful and dietary characteristics of legumes based on medical evidence. Science. Thought. 2016. № 12. Pp. 24-30.
2. Melnikova V. A., Chizh A. V. Substantiation of the Possibility of Including Jerusalem Artichoke in Hummus Bean Paste. Bulletin of Youth Science. 2017. № 5 (12). P. 10.
3. Egorova G. P., Shelenga T. V., Proskuryakova G. I. Biochemical Characteristics of Lupine (Lupinus L.) Seeds from the VIR Collection. Legumes and cereals. 2019. № 3. V. 31. Pp. 79-87.
4. Ariyaratna I. R., Karunaratne D. N. Use of chickpea protein for encapsulation of folate to enhance nutritional potency and stability. Food Bioprod. Proc. 2015. N 95. Pp. 76-82.
5. Arnoldi A., Boschin G., Zannoni C., Lammi C. The health benefits of sweet lupine seed flours and isolated proteins. J. Funct. Foods. 2015. No 18. Pp. 550-563.
6. Vishnyakova M. A., Kushnareva A. V., Shelenga T. V., Egorova G. P. Alkaloids of narrow-leaved lupine as a factor determining alternative ways of use and selection of the crop. Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2020. № 24 (2). Pp. 625-635.
7. Johnson S. K., Clements J., Villarino C. B. J., Coorey R. Lupins: Their Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In Gluten-Free Ancient Grains; Woodhead Publishing: Sawston, 2017. Pp. 179-221.
8. Egorova G. P., Shelenga T. V., Proskuryakova G. I. Biochemical Characteristics of Lupine (Lupinus L.) Seeds from the VIR Collection. Legumes and cereals. 2019. № 3. Pp. 79-87.
9. Agafonova S. V., Rykov A. I. Chemical Composition of Seeds of the Plant Lupinus angustifolius L. and Lupinus albus L. of the Kaliningrad Region. Chemistry of plant raw materials. 2021. № 3. Pp. 135-142.
10. Ravkov E. V., Malysheva Y. S. Qualitative Grain Composition of Promising White Lupine Varieties. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No 4. Pp. 99-102.
11. Artyukhov A.I., Podobedov A.V. Lupin is an important component of Russia's strategy of self-sufficiency in complementary protein. Fodder production. 2012. № 5. Pp. 3-4.
12. Lo B., Kasapis S., Farahnaky A. Lupine protein: Isolation and techno-functional properties, a review. Food Hydrocolloids. 2021. V. 112. Article 106318.
13. Lucas M. M., Stoddard F. L., Annicchiarico P., Frías J., Martínez-Villaluenga C., Sussmann D., Durant, M., Seger A., Zander P. M. Pueyo J. J. The future of lupine as a protein crop in Europe. Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. Pp.1-6.
14. Zubova E. V., Zalotova T. V., Kapitanova G. I., Terekhova O. B., Rodygina N. V. Nutritional value of white lupine and prospects for its use in the production of food products from plant raw materials. Agrarian science. 2023. № 4. Pp. 137-144.

15. Zaitseva L. V., Yudina T. A., Ruban N. V., Bessonov V. V., Mehdiyev V. S. Modern Approaches to the Development of Gluten-Free Bakery Product Recipes. *Nutrition issues*. 2020. V. 89. № 1. Pp. 77-85.
16. Sedláková K., Straková E., Suchý P., Krejcarová J., Herzig I. Lupin as a perspective protein plant for animal and human nutrition – a review. *Acta Vet. Brno*. 2016. No 85. Pp. 165-175.
17. Evan J. Reister, Lynn N. Belote, Heather J. Leidy. The Benefits of Including Hummus and Hummus Ingredients into the American Diet to Promote Diet Quality and Health: A Comprehensive Review. *Nutrients*. 2020. No 12 (12).
18. Nogaev V. O., Galiullin A. A., Koryagin Y. V., Koryagina N. V. Development of Composition and Formation of Properties of Hummus with Fermented Whey. *Sursky Vestnik*. 2020. № 4 (12). Pp. 59-65.
19. Melnikova V. A., Chizh A. V. Study of the Consumer Market of Hummus in Kaliningrad and the Region. *Bulletin of Youth Science*. 2018. № 4 (16). P. 11.
20. Nelyubina E. G., Babnishev I. A. Useful properties of hummus for the human body. *Paradigm*. 2022. № 5. Pp. 29-31.
21. Nelyubina E. G., Babnishev I. A. Useful properties of hummus for the human body. *Paradigm*. 2022. № 5. Pp. 29-31.
22. Martínez-Preciado A. H., Ponce-Simental J. A., Schorno A. L., Contreras-Pacheco M. L., Michel C. R., Rivera-Ortiz K. G., Soltero J. F. A. Characterization of nutritional and functional properties of «Blanco Sinaloa» chickpea (*Cicer arietinum* L.) variety, and study of the rheological behavior of hummus pastes. *Journal of Food Science and Technology*. 2019. No 57 (5). Pp. 1-10.
23. Reister E. J., Leidy H. J. An Afternoon Hummus Snack Affects Diet Quality, Appetite, and Glycemic Control in Healthy Adults. *Journal of Nutrition*. 2020. V. 150 (8). Pp. 2214-2222.
24. Reister E. J., Belote L. N., Leidy H. J. The Benefits of Including Hummus and Hummus Ingredients into the American Diet to Promote Diet Quality and Health: A Comprehensive Review. *Nutrients*. 2020. V. 12 (12).

Информация об авторах

Тимошенко Елена Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, руководитель группы переработки и пищевого использования люпина ВНИИ люпина – филиала ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» (Российская Федерация, 241524, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/org/0000-0002-0283-8785>, e-mail: el.timo32@mail.ru

Рутцкая Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научного направления переработки и пищевого использования люпина ВНИИ люпина – филиала ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», (Российская Федерация, 241524, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/org/0000-0003-3934-206X>, e-mail: rvi15@mail.ru

Author's Information

Timoshenko Elena Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, the head of the department of the lupine processing and nutritional use of the All-Russian Research Institute of Lupine – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (Russian Federation, 241524, Bryansk region, Bryansk district, Michurinskiy, Berezovaya str., 2), ORCID: <https://orcid.org/org/0000-0002-0283-8785>, e-mail: el.timo32@mail.ru

Rutskaya Valentina Ivanovna, PhD in Biology, the super researcher of the department of the lupine processing and nutritional use of the All-Russian Research Institute of Lupine – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (Russian Federation, 241524, Bryansk region, Bryansk district, Michurinskiy, Berezovaya str., 2), ORCID: <https://orcid.org/org/0000-0003-3934-206X>, e-mail: rvi15@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-15

BIOECOLOGICAL MONITORING OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS ACER L. FOR FORECASTING THE PROSPECTS OF THEIR USE IN ARTIFICIAL PLANTATIONS

¹Khuzhakhmetova A. Sh., ²Voronina V. P., ¹Sapronova D. V., ²Kiselyova A. V.

¹*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: avfanc@yandex.ru

Received 11.04.2024

Submitted 15.05.2024

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: "Formation of multifunctional cluster dendrological expositions and their renovation into bioresource artificial and landscaped landscape spaces of recreational type in low-forest regions of Russia" (Registration number: 121041200195-4), The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Summary

The results of monitoring and ranking of representatives of the maple genus according to a set of indicators in arboretum and landscaping plantations of the Volgograd region are presented.

Abstract

Introduction. In connection with climatic changes, the importance of assessing the adaptive capacity of trees and shrubs, forecasting the risks of using new species in artificial plantations in Volgograd region is increasing. **Objects.** Representatives of the genus *Acer* L. in dendroexpositions of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Kamyshin) and Volgograd Agrarian University (Volgograd, urbanozems). **Materials and methods.** Bioecological monitoring was carried out by standard observations according to the GBS methodology to assess the influence of meteorological indicators on the main morphometric indices. Experimental data on ecological-physiological and morphological indices were used for mathematical analysis and subsequent ranking of species by prospectivity. **Results and conclusions.** Changes in average daily temperatures at observation points (1961-1990. 1991-2020) and the influence of meteorological conditions on the phases of development of *Acer* L. The species were distributed by height into trees of the second size (10.0-12.2 m) – *A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. negundo* L.; *A. campestre* L., *A. tataricum* L. (3.6-6.5 m) – trees of the third size or large shrubs (2.1-5.0 m). High intraspecific and interspecific variability of leaves in leaf area and specific phytomass was found: from small leaves of *A. tataricum* (10.42 cm²; 0.011 g/cm²), *A. campestre* (12.95 cm²; 0.0088 g/cm²) to large leaves of *A. platanoides* (47.89 cm²; 0.0056 g/cm²), *A. pseudoplatanus* (65.32 cm²; 0.0067 g/cm²). Resistance to unfavorable hydrothermal indicators correlates well with the content of biological pigments in leaf laminae. Comprehensive analysis of the results of bioecological monitoring showed high prospects of the tested maple species for the purposes of protective afforestation and landscaping. Detailed survey of dendrological collections and green areas revealed mass dispersal outside the collection of *A. negundo*; active dispersal of *A. campestre*, *A. tataricum*. *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus* forms local populations, due to the increase of heat availability in the region. For use in artificial plantings it is recommended to limit the use of *A. negundo*, other species (*A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*) are recommended for landscaping objects.

Keywords: *Acer* L., bioecological monitoring, dendrological expositions, artificial plantings, invasion risks.

Citation. Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Sapronova D. V., Kiselyova A. V. Bioecological monitoring of representatives of the genus *Acer* L. for forecasting the prospects of their use in artificial plantations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 130-139 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-15.

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

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

УДК 630*232.1

**БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗА ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ РОДА ACER L.
ДЛЯ ПРОГНОЗА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИСКУССТВЕННЫХ
НАСАЖДЕНИЯХ**

¹Хужахметова А. Ш., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

²Воронина В. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Сапронова Д. В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

²Кисилева А. В., аспирант

¹ФГБУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования выполнены по теме Государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН: «Формирование полифункциональных кластерных дендрологических экспозиций и их реновации в биоресурсные искусственные и озелененные ландшафтные пространства рекреационного типа в малолесных регионах России» (Регистрационный номер: 121041200195-4), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Актуальность. В связи с климатическими изменениями возрастает значимость по оценке адаптационных возможностей деревьев и кустарников, прогнозу рисков использования новых видов в искусственных насаждениях Волгоградской области. **Объекты.** Представители рода *Acer* L. в дендрозэкспозициях ФНЦ агроэкологии РАН (г. Камышин) и Волгоградского аграрного университета (Волгоград, урбаноземы). **Материалы и методы.** Биоэкологический мониторинг проводился по стандартным наблюдениям по методике ГBS для оценки влияния метеопказателей на основные морфометрические показатели. Экспериментальные данные по эколого-

физиологическим и морфологическим показателям использовались для математического анализа и последующего ранжирования видов по перспективности. **Результаты и выводы.** Выявлены изменения среднесуточных температур в пунктах наблюдений (1961-1990. 1991-2020) и влияние метеоусловий на фазы развития *Acer L.* По высоте виды распределены на деревья второй величины (10,0-12,2 м) – *A. platanoides L.*, *A. pseudoplatanus L.*, *A. saccharinum L.*, *A. negundo L.*; *A. campestre L.*, *A. tataricum L.* (3,6-6,5 м) – деревья третьей величины или крупные кустарники (2,1-5,0 м). Установлена высокая внутривидовая и межвидовая изменчивость листьев по площади листа и удельной фитомассе: от мелких листьев *A. tataricum* (10,42 см²; 0,011 г/см²), *A. campestre* (12,95 см²; 0,0088 г/см²) до крупных *A. platanoides* (47,89 см²; 0,0056 г/см²), *A. pseudoplatanus* (65,32 см²; 0,0067 г/см²). Устойчивость к неблагоприятным гидротермическим показателям хорошо коррелирует с показателями содержания биологических пигментов в листовых пластинках. Комплексный анализ результатов биоэкологического мониторинга показал высокую перспективность испытанных видов клена для целей защитного лесоразведения и озеленения. Детальное обследование дендрологических коллекций и зеленых насаждений выявило массовое расселение за пределами коллекции *A. negundo*; активное расселение *A. campestre*, *A. tataricum*. *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus* образует локальные популяции, в связи увеличением теплообеспеченности в регионе. Для использования в искусственных насаждениях рекомендуется ограничить применение *A. negundo*, остальные виды (*A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*) рекомендованы для объектов озеленения.

Ключевые слова: *Acer L.*, биоэкологический мониторинг, дендрологические экспозиции, искусственные насаждения, инвазионные риски.

Цитирование. Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Сапронова Д. В., Киселёва А. В. Биоэкологический мониторинг за представителями рода *Acer L.* для прогноза перспективности их использования в искусственных насаждениях. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 130-139. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-15.

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 сложных лесорастительных условиях Волгоградской области рациональное управление дендрологическими ресурсами особенно актуально и направлено на сохранение и повышение биоразнообразия деградированных территорий [10]. Реновация существующих насаждений через оптимизацию их видового и формового разнообразия [14] позволяет повысить их устойчивость, многофункциональность и эколого-экономическую значимость [16, 17]. Биоэкологический мониторинг за древесными видами в коллекциях позволяет прогнозировать их состояние и долговечность с учетом почвенно-климатических условий района [12, 15] и локализации искусственных насаждений [18]. В связи с увеличением среднемесячных температур и дефицита осадков в период вегетации возрастает значимость исследований по оценке адаптационных возможностей деревьев и кустарников [13], прогнозу их использования в искусственных насаждениях [3, 4, 19]. Многие исследователи [2, 20] отмечают риски биологических инвазий и сложности контроля инвазионного процесса. При оценке потенциальной угрозы инвазионных качеств разных видов внимание уделяется особенностям репродуктивного развития, периодичности плодоношения, семенной продуктивности. Интродукционное испытание таксонов рода *Acer L.* в дендрариях, лесных культурах на протяжении длительного времени показало их высокую пластичность, сохранность [1, 9, 11] и фитоценоотическую устойчивость в смешении с другими деревьями и кустарниками [5]. **Целью исследования** являлось изучение представителей рода *Acer L.* под влиянием гидротермических и почвенных факторов и выявление адаптационного потенциала и инвазивных качеств.

Объекты и методы исследований. Дендрозэкспозиции с представителями рода *Acer L.* на Нижневолжской станции по селекции древесных пород (г. Камышин, рисунок 1) произрастают в условиях каштановых почв с 1931 года, на территории ВолГАУ на урбано-земах, погребенных светло-каштановых почвах с 2000 года.

Опыт и длительность культивирования видов оценивали с учетом информационных баз данных [7]. Биоэкологический мониторинг включал фенологические наблюдения по методике ГБС, учет метеопараметров (<https://weatherarchive.ru>, www.meteoinfo.ru) и их влияние на рост и развитие, цветение и плодоношение.



клен остролистный (*Acer platanoides* L.)



клен серебристый
(*A. saccharinum* L.)

клен полевой (*A. campestre* L.)



клен татарский
(*A. tataricum* L.)

клен ложноплатановый
(*A. pseudoplatanus* L.)

клен ясенелистный
(*A. negundo* L.)

Рисунок 1 – Коллекции кленов в дендрологических экспозициях Нижневолжской станции
по селекции древесных пород

Figure 1 – Objects of research in dendrological expositions of the Nizhnevolzhskaya station
for selection of tree species

Для обработки результатов фенологических дат применена программа Excel с подсчетом количества дней от точки отсчета (1 марта) до даты наступления фенологического события. Особенности ростовых процессов выявляли для каждого таксона на основе систематических измерений приростов побегов в средней части кроны модельных экземпляров. Соотношение сухого вещества на единицу площади листовой поверхности определяли общепринятым весовым методом. Базы данных по эколого-физиологическим и морфологическим показателям (по методикам Семенютиной и др. [10]), использовались для определения взаимосвязей и проверки соответствия линейных регрессионных зависимостей и последующего ранжирования видов по перспективности (рисунок 2).

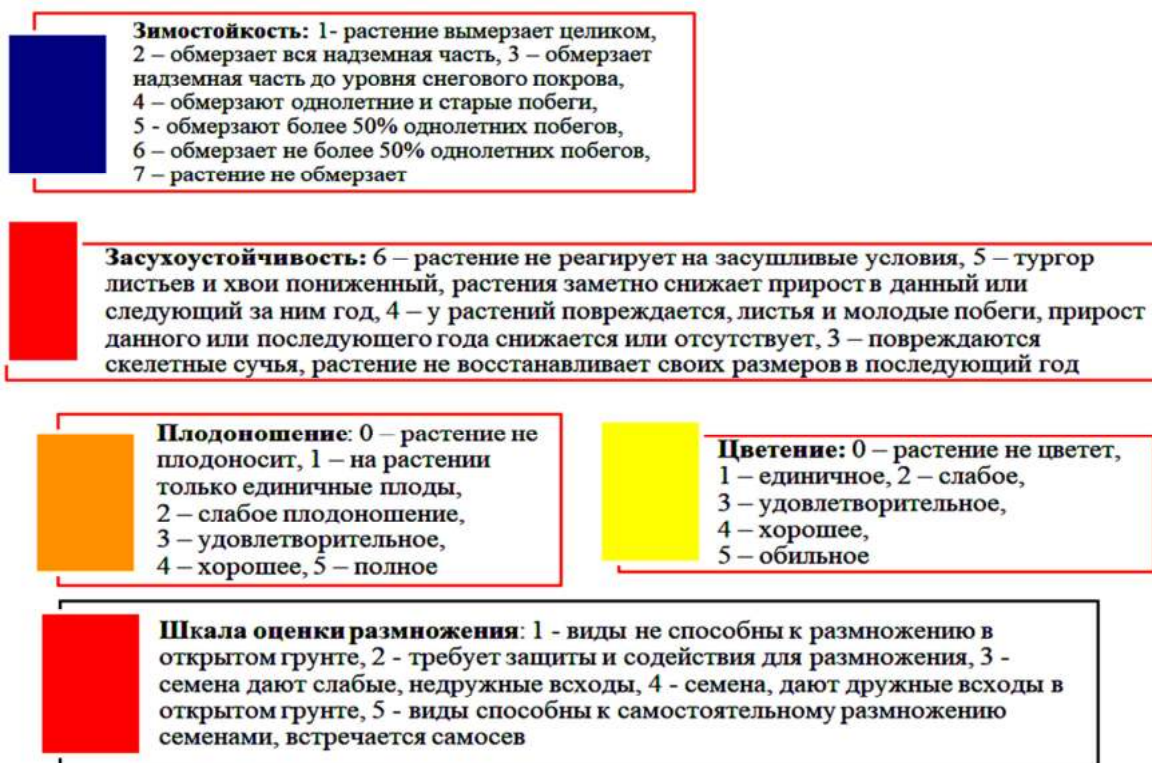


Рисунок 2 – Ранжирование ассортимента древесных видов по комплексу признаков
Figure 2 – Ranking the assortment of tree species by complex of traits

По методике Санниковой [6] оценивалась обильность семенного потомства. Приборной основой для исследований являлись DUALEX Scientific, люксметр LXP-10A, весы Digital scale, влагомер 46908.

Результаты и обсуждение. Формирование дендрологических коллекций ФНЦ агроэкологии РАН для целей защитного лесоразведения и озеленения основано на подборе ассортимента деревьев и кустарников по засухо-, зимостойкости и солеустойчивости. В современной структуре дендрокolleкций преобладают полиморфные родовые комплексы, представители которых обладают хозяйственно ценными качествами [7, 19]. В Волгоградском кластерном дендрарии с 1963 года в условиях недостаточного увлажнения на светло-каштановых почвах проходили испытание 7 видов рода *Acer* L. «...В коллекции представлены виды разного географического происхождения: из горных районов Северной Америки – клен ясенелистный (*A. negundo* L.), с этого же материка, но с более увлажненных мест – клен серебристый (*A. saccharinum* L.); из умеренной зоны Европейской части СССР – клен татарский (*A. tataricum* L.), остролистный (*A. platanoides* L.), с Кавказа – клен Траутфеттера (*A. trautvetteri* Medw.); с долин горных рек Средней Азии – клен Семенова (*A. semenovii* Regel et Herd.); район естественного распространения клена гиннала (*A. ginnala* Maxim.) – берега рек и речек Дальнего Востока...» [9].

В условиях каштановых почв на Нижневолжской станции помимо вышеперечисленных видов клена в разные годы проходили испытание: клен красивый (*A. pictum* Thunb., естественный ареал – Япония), клен трехлопастной (*A. monspessulanum* var. *rotundilobum*; Европа, Юго-западная Азия), клен Лерберга (*A. lorbergi* hort. Ex Dippel), клен Лобеля (*A. lobelii* Ten.; Италия, западные Балканы), клен мелколистный (*A. mono* Maxim.; Дальний Восток; Сев.-Вост. Китай), клен усеченный (*A. truncatum*; Китай, Монголия, Корея), клен ложноплатановый (*A. pseudoplatanus* L.; Центральная Европа, Азия, Кавказ). В настоящее время некоторые виды (*A. pictum*, *A. monspessulanum* var. *rotundilobum*, *A. lorbergi*, *A. truncatum*) были из коллекций из-за предельного возраста растений и сложности их семенного размножения.

Коллекция ВолГАУ представлена *Acer campestre*, *A. platanoides*, *A. platanoides* var. *Globosum*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharum*. По данным Ворониной и др. [3] анализ на токсичность показал безопасность в отношении тяжелых металлов, содержание которых не превышает ПДК (Zn 1:0,97; Pb 1:0,84; Cd 1:0,30; Hg 1:0,05).

Как показывают многолетние интродукционные исследования, эффективность культивирования видов, форм и сортов зависит от видовой и индивидуальной адаптации, которые хорошо выявляются при комплексном изучении их эколого-биологических особенностей в новых условиях обитания. Сезонная вариабельность параметров погоды и увеличение среднемесячных температур в последние десятилетия (рис. 3) зачастую вырабатывает у растений приспособления к изменившимся условиям местообитания [10, 11].

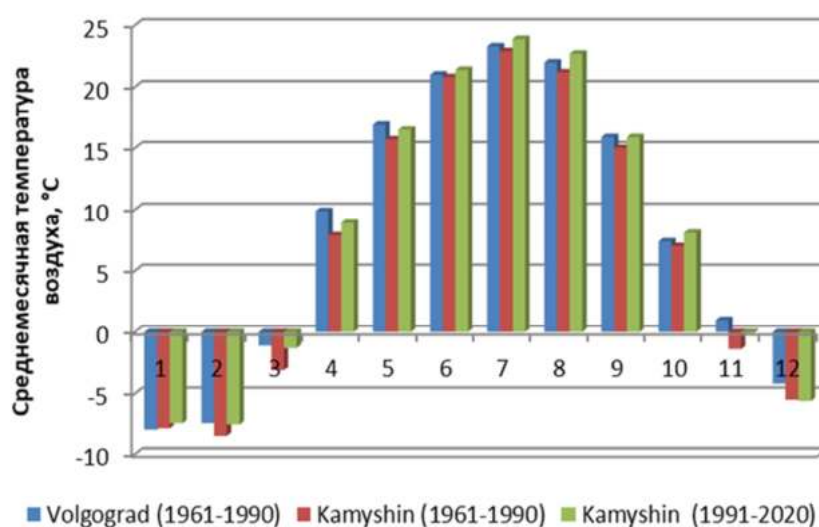


Рисунок 3 – Изменение среднемесячных температур в пунктах наблюдений (www.meteoinfo.ru)
Figure 3 – Variation of average daily temperatures at observation sites (www.meteoinfo.ru)

Наблюдения за периодом роста и фазами развития *Acer* L. в условиях каштановых и урбаноземов позволили выявить эколого-биологические особенности, касающиеся начальных фаз развития. Установлено, что в Волгограде начало вегетации у всех видов клена фиксируется с первой декады апреля. В Камышине сдвинуты сроки распускания вегетативных почек на вторую декаду апреля. Более ранние сроки наступления (17-20.IV) характерны для *A. saccharinum* и *A. negundo*. Остальные виды имеют более сближенные сроки – 20-23. IV, при продолжительности фазы от 9-11 (*A. tataricum*, *A. negundo*) до 14-17 (*A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. campestre*) дней. У представителей рода клен отмечены межвидовые отличия по срокам начала цветения: *A. saccharinum*, *A. platanoides*, *A. negundo*, *A. campestre* (раннецветущая группа, от 55 до 60 дней от 1 марта; длительность фазы 5-7 дней), *A. tataricum* (75-87 дней от 1 марта; продолжительность 7-12 дней). Срок созревания плодов видоспецифичен и наиболее растянут во времени: *A. tataricum* – 85-89 дней, *A. platanoides*, *A. campestre*, *A. negundo* – 128-132 дня. В последние годы более раннее наступление сроков роста побегов определило увеличение длительности ростовых процессов на 10-15 дней в благоприятный весенний период, когда в почве нет дефицита влаги. По высоте виды распределены на деревья второй величины (10,0-12,2 м) – *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. negundo* L.; *A. campestre* L., *A. tataricum* L. (3,6-6,5 м) – деревья третьей величины или крупные кустарники (2,1-5,0 м). Учитывая выявленные таксационные показатели кленов и формирование у них в тяжелых лесорастительных условиях полноценного габитуса к 10-20 годам, прогнозируемая долговечность древостоя может составлять 50-60 лет при условии дополнительного полива в засушливые летние месяцы.

По данным Ворониной В. П. и др. [3] «... анализ варьирования текущего прироста кленов в условиях техногенных почвогрунтов показал, что этот показатель находится в пределах нормально варьирующего признака. Такая характеристика свидетельствует об

экологической устойчивости растений в новых экологических условиях. Коэффициент вариации испытываемых видов не превышает 33%, то есть средние показатели прироста рассчитаны для однородной совокупности, они являются статистически значимыми. Изменчивость текущего прироста наименьшая у *A. campestre* (15,4-15,8%), и *A. platanoides* var. *Globosum* (20,2-23,2%), что оценивается как средняя степень варьирования признака. Высокий коэффициент вариации (31,2-32,9) выявлен у других видов, что вероятно связано с адаптацией к новым эдафическим условиям и биоэкологией вида...». В целом изученные виды относятся к таксонам с коротким периодом роста, вторичный прирост фиксировался во влажные годы у *A. tataricum* и *A. saccharinum* во всех пунктах наблюдений. Следует отметить увеличение периода вегетации у всех видов до 225-231 дней.

Стабильность плодоношения – показатель не только успешности интродукции, но и показатель потенциальных рисков, связанных с интенсивностью естественного возобновления видов. Инвазионные виды составляют лишь небольшую долю от общего числа чужеродных видов в общем составе флоры данной местности, но их влияние может быть опустошительным, сравнимым с биологической диверсией [2]. Из представителей рода клен к таковым в сухостепных районах исследователи относят клен ясенелистный. Этот вид достаточно часто встречается в овражно-балочных понижениях, которые имеются в городской черте, где формируются естественные заросли. Чаще всего возраст вступления в период стабильного плодоношения объектов исследований фиксируется с 6-10 лет. Процент плодов в общей биологической продуктивности составил: *A. negundo* – 10,5, *A. tataricum* – 3,8, *A. platanoides* – 2,0. Поквартальное маршрутное обследование дендрологических экспозиций Нижневолжской станции по селекции древесных пород выявило естественное расселение кленов. Массовое расселение за пределами коллекции повсеместно отмечается у *A. negundo*, активное расселение выявлено у *A. campestre*, *A. tataricum*. К видам, образующие локальные популяции вне экспозиций и утратившие физическую связь с материнскими растениями, отнесены *Acer platanoides* и *A. pseudoplatanus*. *Acer saccharinum* не представляет инвазионные риски, единичные экземпляры вида зафиксированы вне экспозиции.

Экстремальный термический режим в вегетационные периоды 2021 и 2022, 2023 года (средняя месячная температура в июле и августе +27-28°C; в отдельные дни абсолютный максимум +35-42°C при влажности воздуха до 15-17%) все клены перенесли удовлетворительно. У *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus* и *A. saccharinum* зафиксирована сильная потеря тургора, частично подгорали концы листьев. У *A. tataricum* листья пожелтели, побурели и опали (до 20%) с восточной и южной сторон. Механизмы адаптации к высоким температурам у разных видов клена установлено в более ранних исследованиях, которые связаны с морфобиологическими особенностями: «... наибольшие повреждения отмечены у *A. platanoides*, *Acer platanoides* var. *Globosum*, который оказался чувствительным к воздействию высоких температур, так как морфологических защитных механизмов у этого вида на нижней стороне листа не достаточно в отличие от других видов, которые имеют более светлую окраску (К. сахарный), негустое светлое опушение (К. явор), или воскообразное блестящее покрытие (К. полевой). Наиболее устойчивым к действию высоких температур при низкой влажности воздуха оказался *A. campestre*, который имеет небольшие, блестящие листья, которые хорошо отражают избыток солнечной радиации. Другие вегетативные и генеративные органы у кленов (почки, неодревесневшие ветви, плоды и др.) при термическом воздействии не страдают и на последующее развитие не оказывают значительного отрицательного воздействия...» [3].

Биологические пигменты участвуют в процессе фотосинтеза, являются маркерами засухо- и жароустойчивости. От содержания биологических пигментов зависят морфологические показатели листовой поверхности, общее состояние растений и декоративность. На Нижневолжской станции определение биологических пигментов проводилось в июле 2023 года, после длительного воздействия экстремально высоких температур (+35,5-+38,4°C), когда был получен отклик на неблагоприятный гидротермический режим у ассимиляционного аппарата. *Acer campestre*, *A. tataricum* имеют более высокие показатели содержания хлорофиллов и флавоноидов, что позволяет судить о формировании механизмов адаптации к влиянию высоких температур при длительном отсутствии осадков, которые позволяют регулировать фотосинтетическую активность (таблица 1).

Различная устойчивость к действию засухи связана и с особенностями анатомического строения листовой пластинки. «...Определение индекса засухоустойчивости по методике Гурского (поверхность листа / V объем листа) показало, что наименьшие величины индекса засухоустойчивости имеют *A. negundo* (мужские экземпляры 117, женские 125,3), наибольшие – у *A. saccharinum* (192,7) и *A. platanoides* (185,5), промежуточное положение занимают *A. tataricum* и *A. ginnala* (159,7 и 160,4). *A. saccharinum* и *A. platanoides* из увлажненных мест природного обитания для успешного произрастания требуют лучших условий...» [8]. Морфометрический анализ показал высокую внутривидовую и межвидовую изменчивость листьев по площади листа и удельной фитомассе: от мелких листьев *A. tataricum* (средняя площадь – 10,42 см²; удельная фитомасса 0,011 г/см²), *A. campestre* (12,95 см²; 0,0088 г/см²) до крупных *A. platanoides* (47,89 см²; 0,0056 г/см²), *A. pseudoplatanus* (65,32 см²; 0,0067 г/см²).

Таблица 1 – Содержание биологических пигментов, мкг/см²
Table 1 – Content of biological pigments, µg/cm²

Виды <i>Acer</i> / Types of <i>Acer</i>	Chl±sd	Flav±sd	Ant±sd
<i>A. campestre</i>	23,33±1,64	1,91±0,04	0,331±0,015
<i>A. tataricum</i>	20,93±1,69	1,72±0,17	0,336±0,014
<i>A. negundo</i>	14,69±1,12	1,93±0,09	0,401±0,025
<i>A. platanoides</i>	13,13±2,51	1,46±0,14	0,410±0,017
<i>A. saccharinum</i>	15,70±1,61	1,91±0,07	0,441±0,013
<i>A. pseudoplatanus</i>	20,95±1,06	2,23±0,01	0,386±0,014

Chl – сумма хлорофиллов a+b, Fla – флавоноиды, Ant – антоцианы, sd – ошибка
Chl is the sum of chlorophylls a + b, Fla is flavonoids, Ant is anthocyanins, sd is an error

Закключение. Анализ результатов биоэкологического мониторинга по комплексу показателей, включающих таксационные, морфометрические, физиологические и др., представителей рода *Acer* L., произрастающих на каштановых почвах (г. Камышин) и урбаноземах (г. Волгоград) показал, что изучаемые виды отнесены к группе перспективных дендромелиорантов (23-28 баллов) для защитного лесоразведения и озеленения. По высоте виды распределены на деревья второй величины (10,0-12,2 м) – *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo*; *A. campestre*, *A. tataricum* (3,6-6,5 м) – деревья третьей величины или крупные кустарники (2,1-5,0 м). У представителей рода клен выявлены межвидовые отличия по срокам цветения: 55-60 дней; длительность 5-7 дней – *A. saccharinum*, *A. platanoides*, *A. negundo*, *A. campestre*; у *A. tataricum* 75-87 дней; продолжительность 7-12 дней. Срок созревания плодов видоспецифичен: *A. tataricum* – 85-89, *A. platanoides*, *A. campestre*, *A. negundo* – 128-132 дня.

Морфометрический анализ показал высокую внутривидовую и межвидовую изменчивость листьев по площади листа и удельной фитомассе: от мелких листьев *A. tataricum* (средняя площадь – 10,42 см²; удельная фитомасса 0,011 г/см²), *A. campestre* (12,95 см²; 0,0088 г/см²) до крупных *A. platanoides* (47,89 см²; 0,0056 г/см²), *A. pseudoplatanus* (65,32 см²; 0,0067 г/см²). В условиях длительного отсутствия осадков при высоких дневных температурах у засухоустойчивых видов выше показатели содержания хлорофиллов a+b (20,9-23,3 мкг/см²) и продуктивность фотосинтеза.

В результате многоцелевой оценки представителей рода клен в условиях сухой степи и городской среде биологические риски не выявлены, так как массовое расселение *A. negundo* за пределами коллекции отмечается на территориях, не занятых другими видами. *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum* не являются инвазивными, так как не имеют массового расселения, и рекомендуются к широкому использованию.

Conclusions. Analysis of the results of bioecological monitoring on a set of indicators, including taxational, morphometric, physiological, etc., of representatives of the genus *Acer* L. growing on chestnut soils (Kamyshin) and urban soils (Volgograd) showed that the studied species are classified as promising (23-28 points) for protective afforestation and landscaping. In terms of height, the species are distributed into trees of the second size (10.0-12.2 m) – *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo*; *A. campestre*, *A. tataricum* (3.6-6.5 m) – trees of the third size or large shrubs (2.1-5.0 m). In representatives of the genus maple, interspecific differences in terms of flowering time were revealed: 55-60 days; duration 5-7 days – *A. saccharinum*, *A. platanoides*, *A. negundo*, *A. campestre*; in *A. tataricum* 75-87 days; duration 7-12 days. Fruit ripening time is species-specific: *A. tataricum* – 85-89, *A. platanoides*, *A. campestre*, *A. negundo* – 128-132 days.

Morphometric analysis showed high intraspecific and interspecific variability of leaves in leaf area and specific phytomass: from small leaves of *A. tataricum* (average area - 10.42 cm²; specific phytomass 0.011 g/cm) to small leaves of *A. campestre* (12.95 cm²; 0.0088 g/cm). *A. tataricum* (aver-

age area – 10.42 cm²; specific phytomass 0.011 g/cm²), *A. campestre* (12.95 cm²; 0.0088 g/cm²) to large *A. platanoides* (47.89 cm²; 0.0056 g/cm²), *A. pseudoplatanus* (65.32 cm²; 0.0067 g/cm²). Under conditions of prolonged absence of precipitation at high daily temperatures, drought-tolerant species have higher indices of chlorophyll a+b content (20.9-23.3 µg/cm²) and photosynthesis productivity.

As a result of multipurpose assessment of representatives of the maple genus in the conditions of dry steppe and urban environment, biological risks were not revealed, as mass dispersal of *A. negundo* outside the collection is noted in the territories not occupied by other species. *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum* are not invasive, as they do not have mass dispersal and are recommended for wide use.

Библиографический список

1. Абдуллаев А. Н. Изучение биоэкологии и географического распространения вида *Acer* L. Вестник науки и образования. 2020. № 21-3 (99). С. 4-6.
2. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Бочкин В. Д. Влияние чужеродных видов растений на динамику флоры территории главного ботанического сада РАН. Российский Журнал Биологических Инвазий. 2015. № 4. С. 22-40.
3. Воронина В. П., Долмонево М. А., Габунщина А. А. Адаптационные возможности кленовых насаждений в малолесистых урбанизированных ландшафтах. Известия НВ АУК. 2023. № 1 (69). С. 65-78.
4. Петелько А. И., Барабанов А. Т., Выпова А. В. Влияние низкорослого кустарника в стокорегулирующей лесополосе комбинированной конструкции на факторы стока и элементы водного баланса в лесостепи бассейнов Центрального Нечерноземья. Природообустройство. 2023. № 4. С. 28-34.
5. Таран С. С., Матвиенко Е. Ю., Кружилин С. Н. и др. Рост и адаптация древесных интродуцентов в массивных насаждениях Нижнего Дона: монография. Новочеркасск: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018. 255 с.
6. Санникова Н. С. Микроэкосистемный анализ ценопопуляций древесных растений. Екатеринбург: УрО РАН. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26288499&ysclid=luhxz8x91x416452862>.
7. Беляев А. И. и др. Возрастная структура интродукционных ресурсов Камышинского дендрария для разработки реестра растений, требующих сохранения и восстановления: свидетельство о регистрации базы данных № 2022622375 RU Российская Федерация. №2022622205, заявл. 13.09.2022, опубл. 29.09.2022.
8. Семенютина А. В. Дендрофлора лесомелиоративных комплексов: монография. Волгоград: ВНИАЛ-МИ, 2013. 266 с.
9. Семенютина А. В., Доцева С. А. Сезонное развитие и засухоустойчивость интродуцированных видов рода *Acer* L. в условиях светло-каштановых почв. Наука. Мысль. 2014. Т. 4. № 1. С. 24-27.
10. Семенютина А. В., Хужахметова А. Ш., Сапронова Д. В., Долгих А. А., Сапронов В. В. Научные основы и методы мониторинга состояния и динамики дендрофлоры лесомелиоративных комплексов в целях предотвращения деградации и опустынивания территорий: монография. Волгоград, 2024. 196 с.
11. Фирсов Г. А., Хмарик А. Г. Род *Acer* L. в коллекции научно-опытной станции «Отрадное» БИН РАН. Hortus bot. 2020. Т. 15. С. 39-52. <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=7325>.
12. Хужахметова А. Ш., Семенютина А. В., Лазарев С. Е., Цой М. В., Мельник К. А. Характеристика и особенности ростовых процессов древесных растений в засушливом регионе. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2 (62). С. 60-64.
13. Duputie A., Rutschmann A., Ronce O. I. Chuine Phenological plasticity will not help all species adapt to climate change. Global Change Biology. 2015. V. 21. I. 8. Pp. 3062-3073.
14. Khuzhakhmetova A. Sh., Sapronova D. V., Belyaev A. I. et al. Study on selection of woody plants to create sustainable green spaces in sparsely forested rural areas. Research on crops. 2023. V. 24. № 3. Pp. 584-592.
15. Kruzhilin S. N., Taran S. S., Semenyutina A. V., et al. Growth peculiarities and age dynamics of *Quercus robur* L. formation in steppe region conditions. Kuwait Journal of Science. 2018. V. 45. № 4. Pp. 52-58.
16. Lavrov V., Grabovska T., Shupova T. Forest shelter belts in organic agricultural landscape: structure of biodiversity and their ecological role. Folia Forestalia Polonica. 2021. V. 63 (1). Pp. 48-64.
17. Le Saout S., Hoffmann M., Shi Y., et al. Protected areas and effective biodiversity conservation. Science. 2013. V. 342. Iss. 6160. Pp. 803-805.
18. Martynova N., Budarova V. Geoinformation monitoring of the territory of Western Siberia. E3S Web of Conferences. 2021. V. 244. P. 03026.
19. Semenyutina A. V., Tereshkin A. V. Protective afforestation: analysis of the composition and the scientific basis of increasing biodiversity dendroflora. Successes of modern natural science. 2016. № 4. Pp. 99-104.
20. Silantyeva M. M., Ovcharova N. V., Terekhina T. A., et al. Distribution of *Acer negundo* L. in Altai Krai (Russia, Southern Siberia) and its coenotic role in pine forests. Acta Biologica Sibirica. 2021. № 7. Pp. 63-76.

References

1. Abdullaev A. N. The study of bioecology and geographical distribution of the species *Acer* L. Bulletin of Science and Education. 2020. № 21-3 (99). Pp. 4-6.
2. Vinogradova Y. K., Mayorov S. R., Bockhin V. D. Influence of alien plant species on the dynamics of the flora of the territory of the main botanical garden of the Russian Academy of Sciences. Russian Journal of Biological Invasions. 2015. № 4. Pp. 22-40.
3. Voronina V. P., Dolmonego M. A., Gabunshchina A. A. Adaptation capabilities of maple plantations in low forested urbanised landscapes. Izvestiya NV AUK. 2023. № 1 (69). Pp. 65-78.
4. Petelko A. I., Barabanov A. T., Vypova A. V. The influence of a low-growing shrub in a flow-regulating forest belt of a combined design on the factors of runoff and elements of water balance in the forest-steppe of the Central Non-Chernozem earth. Environmental engineering. 2023. V. 4. Pp. 28-34.

5. Taran S. S., Matvienko E. Yu., Kruzhilin S. N., et al. Growth and Adaptation of Tree Introductions in Massive Plantations of the Lower Don: Monograph. Novocherkassk: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov of the Don State Agrarian University, 2018. 255 p.
6. Sannikova N. S. Microecosystem analysis of cenopopulations of woody plants. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26288499&ysclid=lurxz8x91x416452862>
7. Age Structure of Introduction Resources of the Kamyshevo Arboretum for the Development of a Register of Plants Requiring Conservation and Restoration: Certificate of Registration of the Database No 2022622375 RU Russian Federation. No2022622205, application. 13.09.2022, publ. 29.09.2022.
8. Semenyutina A. V. Dendroflora of forest ameliorative complexes: monograph. Volgograd: VNIALMI, 2013. 266 p.
9. Semenyutina A. V., Dotseva S. A. Seasonal development and drought resistance of introduced species of the genus *Acer* L. in conditions of light-chestnut soils. Nauka. Mysl. 2014. V. 4. № 1. Pp. 24-27.
10. Semenyutina A. V., Khuzhakhmetova A. Sh., Sapronova D. V., Dolgikh A. A., Sapronov V. V. Scientific bases and methods of monitoring the state and dynamics of dendroflora of forest ameliorative complexes in order to prevent degradation and desertification of territories: monograph. Volgograd, 2024. 196 p.
11. Firsov G. A., Khmarik A. G. Genus *Acer* L. in the collection of the research and experimental station "Otradnoye" BIN RAS. Hortus bot. 2020. V. 15. Pp. 39-52. <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=7325>.
12. Huzhahmetova A., Semenyutina V., Lazarev S., et al. Characteristics and features of growth processes of woody plants in arid regions. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2021. V. 16. № 2 (62). Pp. 60-64.
13. Duputie A., Rutschmann A., Ronce O. I. Chuine Phenological plasticity will not help all species adapt to climate change. Global Change Biology. 2015. V. 21. I. 8. Pp. 3062-3073.
14. Khuzhakhmetova A. Sh., Sapronova D. V., Belyaev A. I., et al. Study on selection of woody plants to create sustainable green spaces in sparsely forested rural areas. Research on crops. 2023. V. 24. № 3. Pp. 584-592.
15. Kruzhilin S. N., Taran S. S., Semenyutina A. V., et al. Growth peculiarities and age dynamics of *Quercus robur* L. formation in steppe region conditions. Kuwait Journal of Science. 2018. V. 45. № 4. Pp. 52-58.
16. Lavrov V., Grabovska T., Shupova T. Forest shelter belts in organic agricultural landscape: structure of biodiversity and their ecological role. Folia Forestalia Polonica. 2021. V. 63 (1). Pp. 48-64.
17. Le Saout S., Hoffmann M., Shi Y., et al. Protected areas and effective biodiversity conservation. Science. 2013. V. 342. I. 6160. Pp. 803-805.
18. Martynova N., Budarova V. Geoinformation monitoring of the territory of Western Siberia. E3S Web of Conferences. 2021. V. 244. P. 03026.
19. Semenyutina A. V., Tereshkin A. V. Protective afforestation: analysis of the composition and the scientific basis of increasing biodiversity dendroflora. Successes of modern natural science. 2016. № 4. Pp. 99-104.
20. Silantyeva M. M., Ovcharova N. V., Terekhina T. A., et al. Distribution of *Acer negundo* L. in Altai Krai (Russia, Southern Siberia) and its coenotic role in pine forests. Acta Biologica Sibirica. 2021. № 7. Pp. 63-76.

Информация об авторах

Хужахметова Алия Шамильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкологии древесных растений, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 97), ORCID: 0000-0001-5127-8844, e-mail: avfanc@yandex.ru

Воронина Валентина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Агроэкология и лесомелиорация ландшафтов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), ORCID: 0000-0002-3441-5314, e-mail: v.p.voronina@mail.ru

Сапранова Дарья Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 97), ORCID: 0000-0002-3559-3745, e-mail: sapronova.darya@mail.ru

Киселёва Ангелина Владимировна, аспирант кафедры «Агроэкология и лесомелиорация ландшафтов», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: iarohow4@yandex.ru

Author's Information

Khuzhakhmetova Aliya Shamilevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Bioecology of Woody Plants, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5127-8844>, e-mail: avfanc@yandex.ru

Voronina Valentina Pavlovna, Doctor of Agricultural Sciences, professor of the Department of «Agroecology and forest reclamation of landscapes» of the Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3441-5314>, e-mail: v.p.voronina@mail.ru

Sapronova Darya Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3559-3745>, e-mail: sapronova.darya@mail.ru

Kiseleva Angelina Vladimirovna, postgraduate student of the Department of "Agroecology and Forest Reclamation of Landscapes", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: iarohow4@yandex.ru

ASSESSMENT OF THE PECULIARITIES OF CHANGES IN THE CLIMATIC CHARACTERISTICS OF SNOW COVERS IN THE ULYANOVSK REGION

Sharipova R. B., Petrov M. V.

Samara Federal Research Scientific Center RAS
Ulyanovsk Scientific Research Agriculture Institute
Ulyanovsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: maxim120198@yandex.ru

Received 21.03.2024

Submitted 23.04.2024

Summary

The article discusses the results of the conducted research on the characteristics of snow cover. Data related to its formation and destruction, height, density, as well as water supply in the snow and their temporary changes have been obtained.

Abstract

Introduction. In the Ulyanovsk region, the direction of the agro-industrial complex, like any other region, directly depends on the natural resource potential, which determines the productivity of crops, as well as their specialization and structure; therefore further actions will depend not only on scientific and technological progress, but also on natural and climatic changes and their impact on agriculture. As a result of the conducted studies of the characteristics of the snow cover; data were obtained related to its formation and destruction, height, density, as well as water supply in the snow and their temporary changes. **Object.** The object of research is the snow cover. **Materials and methods.** The initial research data are the materials of direct observations of the Timiryazevsky agrometeorological post, Ulyanovsk region from 1993 to 2023. Fourier series decomposition and determination of the parameters of the best sinusoidal approximation for the maximum and minimum points were used to assess long-term changes in agrometeorological parameters. The use of all these methods made it possible to obtain a more complete and accurate understanding of the dynamics of changes and regularities in the studied parameters. Using a software package (Excel, Statistica), correlation and regression analysis was carried out. **Results and conclusions.** According to research data, it has been revealed: over the past 30 years, for the territory of the region, on average, from November 23 to April 3, for 132 days, the establishment of a stable snow cover and its destruction shifted by eleven days towards later formation and destruction with a sufficiently high reliability ($R^2=0.1076$). The duration of the snow cover has not changed significantly. The maximum height of the snow cover in January 2010 ranged from 46 to 85 cm. At the end of the third decade of March 1998, the highest value of snow cover density was recorded, which amounted to 0.38, the deviation from the average value during this period reached 23% and had a beneficial effect on the accumulation of water in the snow, in some years the thickness and density of which reached up to 175 mm, with an average of 86 mm.

Keywords: snow density, snow cover characteristics, climate change, snow depth.

Citation. Sharipova R. B., Petrov M. V. Assessment of the peculiarities of changes in the climatic characteristics of snow covers in the Ulyanovsk region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 140-148 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-16.

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 551.582 556.12

ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Шарипова Р. Б., кандидат сельскохозяйственных наук
Петров М. В., младший научный сотрудник

Самарский федеральный исследовательский центр РАН
Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
г. Ульяновск, Российская Федерация

Актуальность. В Ульяновской области направление агропромышленного комплекса, как и любого другого региона, напрямую зависит от природно-ресурсного потенциала, который предопределяет продуктивность сельскохозяйственных культур, а также их специализацию и

структуру, поэтому дальнейшие действия будут зависеть не только от научно-технического прогресса, но и от природно-климатических изменений и их влияния на сельское хозяйство. В результате проведенных исследований характеристик снежного покрова были получены данные, связанные с его формированием и разрушением, высотой, плотностью, а также запасом воды в снеге и их временными изменениями. **Объект.** Объектом исследований является снежный покров. **Материалы и методы.** Исходными данными исследований служат материалы непосредственных наблюдений агрометеорологического поста Тимирязевский, Ульяновской области с 1993 по 2023 гг. Для оценки долгосрочных изменений агрометеорологических параметров было применено разложение в ряд Фурье и определение параметров наилучшей синусоидальной аппроксимации для точек максимума и минимума. Использование всех данных методов позволило получить более полное и точное представление о динамике изменений и регулярностях в исследуемых параметрах. С помощью пакета программ (Excel, Statistica), осуществлялся корреляционно-регрессионный анализ. **Результаты и выводы.** По данным исследований выявлено: за последние 30 лет для территории региона в среднем с 23 ноября по 3 апреля, в течение 132 дней, покрыта снегом. Установление устойчивого снежного покрова и его разрушение сместились на одиннадцать дней в сторону более позднего образования и разрушения с достаточно большой достоверностью ($R^2=0,1076$). Продолжительность залегания снежного покрова существенно не изменилась. Максимальная высота снежного покрова в январе 2010 года варьировалась от 46 до 85 см. В конце третьей декады марта 1998 года было зафиксировано наивысшее значение плотности снежного покрова, которое составило 0,38, отклонение от среднего значения в этот период достигло 23% и оказало благоприятное влияние на накопление запаса воды в снеге, в отдельные годы мощность и плотность которого достигали до 175 мм, при средних значениях 86 мм.

Ключевые слова: плотность снега, характеристики снежного покрова, изменение климата, высота снежного покрова.

Цитирование. Шарипова Р. Б., Петров М. В. Оценка особенностей изменения климатических характеристик снежного покрова в Ульяновской области. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 140-148. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-16.

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. Изменение климатических показателей в конце IX и начале XX века имеет серьезное влияние на различные секторы экономики, включая сельское хозяйство. Более тщательный контроль над всеми аспектами климатической системы необходим для объективной оценки данных изменений и их последствий. В этой связи Всемирная метеорологическая организация (ВМО) под эгидой Всемирной программы исследования климата (ВПИК), которая является ключевым компонентом Всемирной климатической программы (ВКП), определила основные задачи мониторинга. Целью этих задач является достижение объективной оценки изменений климата и их воздействия на сельское хозяйство. Только путем комплексного анализа данных и долгосрочного мониторинга мы сможем разработать эффективные стратегии для смягчения негативных последствий изменений климата [1, 4, 8, 13].

Снежный покров играет важную роль в климатической системе. Его высокая отражательная способность влияет на формирование климатических особенностей территории. Еще одним важным аспектом снежного покрова является его низкая теплопроводность. Благодаря этому, снежный покров предохраняет почву от глубокого промерзания, что очень важно для земледелия, особенно в зимний период, а также снежный покров создает благоприятные условия для перезимовки озимых культур. Кроме того, снег накапливает запасы воды, которые оказывают влияние на водный баланс [2, 5, 9].

Целью исследований является изучение особенностей региональных изменений характеристик снежного покрова.

В задачи исследований входит определение длительности залегания устойчивого снежного покрова, дат его образования и разрушения, параметров высоты снежного покрова, запаса воды в снежном покрове, который зависит от мощности снежного покрова и его плотности.

Материалы и методы исследований. Наблюдение характеристик снежного покрова проводилось на основании данных стандартных агрометеорологических наблюдений в агрометеорологическом посту Тимирязевский, Ульяновского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенного на территории Ульяновского научно-исследовательского института с 1993 по 2023 гг. Методика измерений, утвержденная Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и геофизическим прогнозам от 5 ноября 2013 года (method.meteorf.ru/cmkr/nov13.html): за дату образования устойчивого снежного покрова принимается первый день периода устойчивого снежного покрова, за дату разрушения – первый день после периода со снежным покровом, когда степень покрытия территории снегом становится менее шести баллов по десятибалльной шкале. Устойчивым снежный покров считается при продолжительности его непрерывного залегания в течение не менее чем 30 дней с небольшими перерывами не более трех дней подряд или вразбивку в месячном промежутке [11, 12]. Исследование базировалось на использовании различных методов анализа, таких как метод скользящих средних, тренда, вероятностного и статистического анализов, а также метода сравнения. Для оценки долгосрочных изменений агрометеорологических параметров было применено разложение в ряд Фурье и определение параметров наилучшей синусоидальной аппроксимации для точек максимума и минимума. Использование всех этих методов позволило получить более полное и точное представление о динамике изменений и регулярностях в исследуемых параметрах. С помощью пакета программ (Excel, Statistica), осуществлялся корреляционно-регрессионный анализ, а также использованы графические методы.

Результаты и обсуждения. Образование и разрушение снежного покрова является климатически важными факторами сезонных изменений на территории Ульяновской области. Информация о его характеристиках (календарная дата появления и разрушения, толщина, водный эквивалент и пр.) имеет большой интерес. При сильном таянии снега поверхностный сток возрастает и разрушает почвы на склоновых участках вплоть до образования оврагов, затем процесс эрозии может привести к деградации почвы и сокращению сельхозугодий, снижению потенциального плодородия почв. В начале вегетации в условиях недостатка влаги для роста и развития сельскохозяйственных культур запас воды в снеге обеспечивает значительную долю почвенной влаги в корнеобитаемом слое. Поэтому мониторинг и оценка параметров снежного покрова представляют собой объект, существенно влияющий на практически значимые характеристики территорий, наблюдения за ними и оценки параметров являются весьма значимыми [7, 10].

Важными характеристиками режима снежного покрова является процесс его формирования и разрушения [3, 6]. Наблюдения показывают, что перед появлением устойчивого снежного покрова происходит неустойчивый период, который сопровождается оттепелями и приводит к таянию снега. Данный процесс наиболее точно соответствует средней суточной температуре воздуха и наблюдается, когда она опускается до $-3...-5^{\circ}\text{C}$ при замерзании почвы на глубину 2-5 см. Обычно первый снег выпадает за 25-35 дней до образования устойчивого покрова. Снежный покров считается устойчивым в тех случаях, когда он пролежит в течение всей зимы или с перерывами не более 3 дней в течение каждые 30 дней залегания снега. Если весной, не более чем через 3 дня после таяния снега, снова образуется снежный покров и лежит не менее 10 дней, то считается, что залегание было непрерывным. Если таких перерывов было менее трех дней, то они включаются в устойчивый покров.

В Ульяновской области, устойчивый снежный покров формируется в среднем 23 ноября (рисунок 1, таблица 1).

По данным исследований за последние три десятилетия, как показывает уравнение линии тренда, установление устойчивого снежного покрова сместилось на одиннадцать дней в сторону более позднего образования (коэффициент достоверности ($R^2=0,0847$)). Наиболее ранний срок образования снежного покрова – 1 ноября 2016 года, самый поздний был зафиксирован 17 декабря 2008 года. Такие различия в сроках образования снежного покрова вызваны различными факторами, влияющими на погоду: климатические условия, температура воздуха, направление и сила ветра, атмосферное давление и другие факторы, отличающиеся от года к году, создавая тем самым различные аспекты зимы.

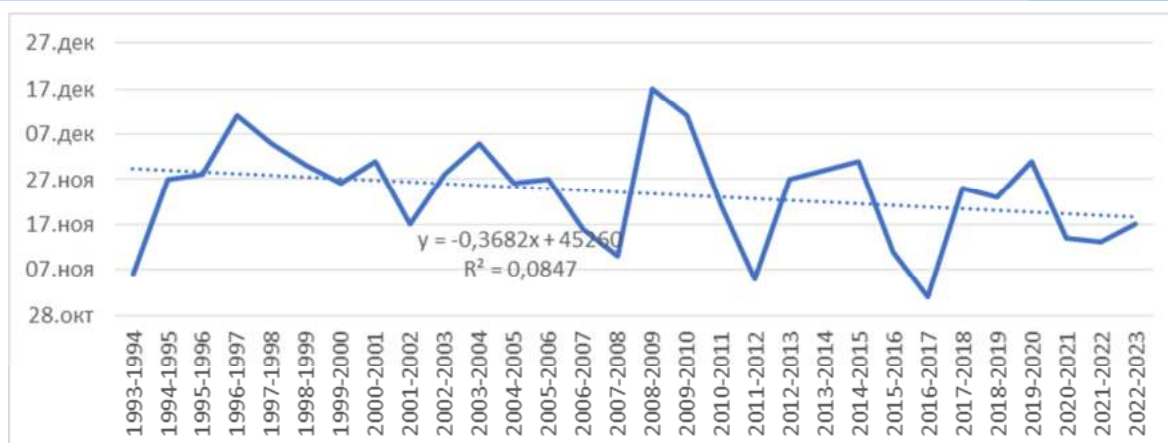


Рисунок 1 – Средние значения даты формирования устойчивого снежного покрова в агрометеорологическом посту Тимирязевский за 1993-2023 гг.

Figure 1 – The average values of the date of formation of a stable snow cover in the Timiryazevsky agrometeorological post for 1993-2023

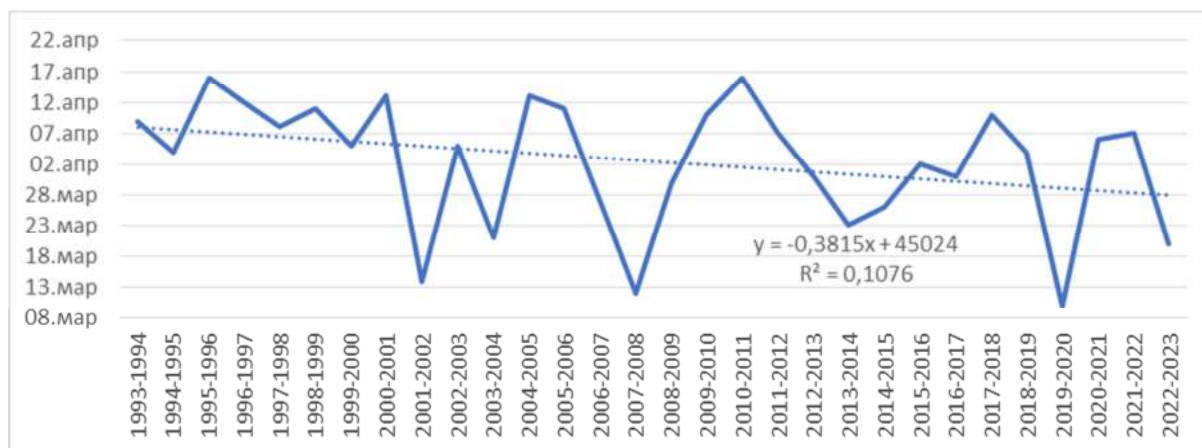


Рисунок 2 – Средние даты разрушения устойчивого снежного покрова в амп. Тимирязевский за 1993-2023 гг.

Figure 2 – Average dates of destruction of stable snow cover in the amp. Timiryazevsky for 1993-2023

Режим весеннего оттаивания показывает, что наиболее раннее разрушение устойчивого снежного покрова начинается 10 марта и заканчивается 16 апреля (2020 г.), средняя дата схода снежного покрова – 3 апреля (таблица 1). Как видно из рисунка 2, коэффициент линейного тренда отрицательный (-0,3815), что указывает на смещение из года в год на более поздние сроки с довольно большой достоверностью ($R^2=0,1076$) в течение тридцати лет также на одиннадцать дней. Такие значительные изменения в датах образования и разрушения снежного покрова происходят параллельно с изменением климата.

Средняя продолжительность залегания снежного покрова длится 132 дня, и варьируют от 100 (1919-1920 гг. с 1.12 по 10.03) до 155 дней (1993-1994 гг. с 1.11 по 9.04) (рисунок 3). Коэффициент линейного уравнения отрицательный (-0,2625), однако довольно низкая достоверность ($R^2=0,0244$). Таким образом, как видно из рисунка 3, в исследованиях прослеживается незначительное сокращение числа дней со снегом в первой половине длинного ряда и нарастание во второй.

Измерение высоты и плотности снега позволяет определить количество воды, содержащейся в нем, и является основой для проведения гидрологических расчетов, прогнозов и оказывают значительное влияние на уровень водности рек, функционирование транспорта и продуктивность сельскохозяйственных культур. Кроме того, широко используются для решения различных научных и практических задач. По данным таблицы 1, в

годовом балансе в Ульяновской области влаги (484 мм), поступающей в почву, зимние осадки составляют 35% (169 мм), в отдельные годы выпадают не более 40% и колеблются от 81 до 91 мм.

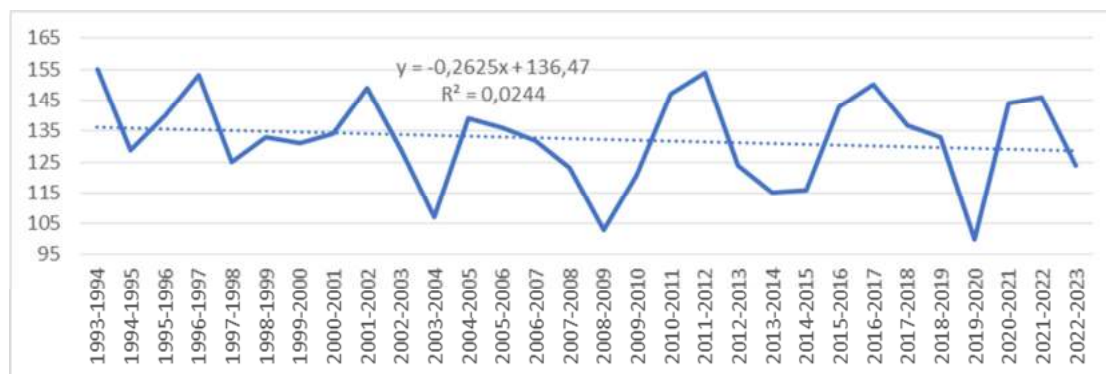


Рисунок 3 – Значения средней продолжительности устойчивого снежного покрова в амп. Тимирязевский за 1993-2023 гг

Figure 3 – The values of the average duration of stable snow cover in the amp. Timiryazevsky for 1993-2023

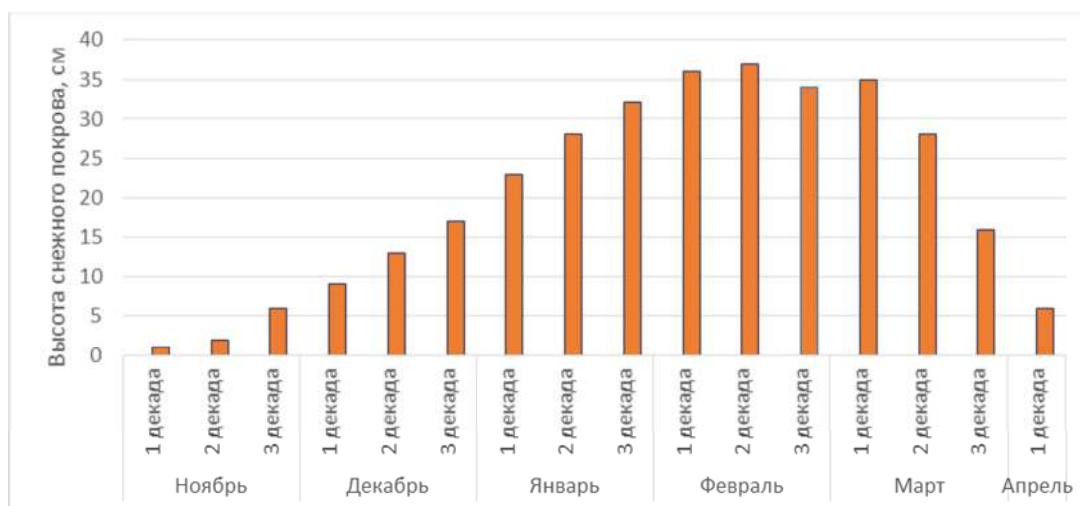


Рисунок 4 – Динамика среднего значения высоты снежного покрова, см

Figure 4 – Dynamics of the average snow cover height, cm

Высота снежного покрова (СП) подвержена значительным колебаниям от года к году. Однако наблюдения показывают, что средние значения предоставляют наглядную картину формирования и разрушения снежного покрова в течение года. Из рисунка 4 можно увидеть, что в начале ноября (в первой декаде) наблюдается его формирование (обеспеченность 10%). Во второй декаде февраля высота снежного покрова достигает наибольшего значения, составляющего 37 см, что является максимальным значением в течение года и указывает на формирование мощного снежного слоя в этом месяце. В третьей декаде февраля наблюдается незначительное снижение высоты снега до 34 см. Однако в начале марта, в первой декаде, снова происходит повышение высоты до 35 сантиметров, что сопровождается увеличением атмосферных осадков, а также снег тает в течение дня, а ночью вновь подмерзает и не дает еще существенного стока. К концу первой декады апреля снежный покров полностью разрушается (обеспеченность 33%). Одной из особенностей таяния снега является то, что оно происходит значительно быстрее, чем его накопление.

За годы исследований было зафиксировано, что наибольшая высота снежного покрова наблюдалась в третьей декаде января 2010 года и составляла 85 см. В первой и второй декаде февраля 2011 и 2020 году достигала до 74 см. Во второй декаде января 2020 года под действием оттепельной погоды поля на три дня оголились, снег полностью растаял.

На практике принято считать, что каждый сантиметр свежеснегоснежного покрова, на квадратный метр, эквивалентен одному литру дождевой воды, однако данное сравнение является приближенным, потому что основными физико-механическими параметрами снежного покрова являются плотность – масса единицы объема снега. С целью изучения динамики плотности снега, запасов воды в снежном покрове в стационарном участке каждые десять дней проводятся снегомерные наблюдения, они включают в себя определение плотности и высоты снежного покрова с применением весового снегомера и переносной снегомерной рейки (таблица 1). Плотность снега зависит от множества факторов и может колебаться в пределах от 0,01 до 0,7 г/см³. Согласно проведенному анализу в последние три десятилетия [1, 4], средняя плотность снега в зимне-весенний период меняется от 0,10 до 0,36 г/см³ в зависимости от высоты снега. Эти изменения связаны с процессом метаморфизма снежного покрова.

В формировании плотности снежного покрова погодные условия и атмосферные явления также играют важную роль: из-за умеренных ветров и оттепельной погоды в отдельные годы наблюдаются высокие значения плотности в конце января – в 2002-2003 сельскохозяйственном году она составила 0,27 г/см³.

Таблица 1 – Средние значения высоты снежного покрова на последний день декады (см), плотности снега, запаса воды в снеге и суммы накопленных осадков, мм

Table 1 – The average values of the snow cover height on the last day of the decade (cm), snow density, water supply in the snow and the amount of accumulated precipitation, mm

Месяц / Month	Декада / Decade	Высота снега, см / Snow depth, cm	Сумма накопленных осадков, мм / Sum of accumulated precipitation, mm	Плотность снега, г/см ³ / Snow density, g/cm ³	Запас воды в снеге, мм / Water supply in snow, mm
Ноябрь / November	1	1	13	0,10	2
	2	2	25	0,12	11
	3	6	37	0,13	15
Декабрь / December	1	9	49	0,14	18
	2	13	61	0,16	24
	3	17	73	0,17	30
Январь / January	1	23	84	0,17	38
	2	28	95	0,18	49
	3	32	107	0,20	58
Февраль / February	1	36	115	0,21	74
	2	37	123	0,23	91
	3	34	131	0,25	81
Март / March	1	35	140	0,26	84
	2	28	149	0,28	85
	3	16	158	0,31	86
Апрель / April	1	6	169	0,36	42
Коэффициент корреляции / Correlation coefficient		0,837	0,863	0,738	-
Коэффициент линейного тренда / Linear Trend Ratio				0.0150	0.7265
Величина достоверности аппроксимации R ² / Confidence value of approximation R ²				5.5294	0.9555
Дата устойчивого установления снежного покрова / Date of sustained establishment of snow cover				23 ноября / November 23	
Дата разрушения снежного покрова / Date of destruction of the snow cover				3 апреля / April 3	
Средняя продолжительность залегания снежного покрова / Average duration of snow cover				132 дня / 132 days	

Главным фактором, определяющим объем воды в снеге, является водный эквивалент снежного покрова (E), который рассчитывается на основе двух переменных: толщины снежного покрова (h) и его средней плотности по вертикали (ρ). Расчет идет по формуле $E = 10\rho h$, где размерный множитель равен 10.

Анализ результатов показал, что объем воды, содержащейся в снежном покрове (E), в целом возрастает с увеличением его высоты. Однако следует отметить, что эта зависимость далека от строго функциональной. Это объясняется, в первую очередь, более продолжительным периодом снегонакопления и большим количеством дней с отрицательными температурами воздуха.

На основании результатов исследований, приведенных в таблице 1, была проведена сравнительная оценка запасов воды, содержащейся в снежном покрове. Наибольшая корреляционная связь между запасами воды в снеге и суммы накопленных осадков – 0,863 высоты снега – 0,837, плотности снега – 0,738.

Таким образом, результаты исследования указывают на взаимосвязь между высотой и объемом воды в снежном покрове, при этом позволяют учитывать и другие факторы, влияющие на накопление снега и образование его водного эквивалента. В ходе многолетнего изучения влагозапасов было установлено, что среднее значение в марте месяце составляет 86 мм, наибольшее значение наблюдался в 1999 году и в марте месяце варьировал от 145 до 175 мм.

Заключение. Территория Ульяновской области продолжительное время, в среднем с 23 ноября по 3 апреля, в течение 132 дней, покрыта снежным покровом, предотвращая резкие перепады температуры в почве, и способствует комфортным условиям для перезимовки озимых посевов, играя одну из главных ролей в формировании климата региона. За годы исследований установление устойчивого снежного покрова и его разрушение сместились на одиннадцать дней в сторону более позднего образования и разрушения с достаточно большой достоверностью ($R^2=0,1076$). Продолжительность залегания снежного покрова существенных изменений не претерпевает. В январе 2010 года наибольший показатель глубины снежного покрова варьировался от 46 до 85 см. Однако наибольшее значение плотности снега, равное 0,38, было зафиксировано в конце третьей декады марта месяца 1998 года. Это отклонение составило 23% от среднего значения. Увеличение мощности и плотности снежного покрова благоприятно сказывается на увеличении запасов воды в снегу, в отдельные годы они достигали до 175 мм, при средних значениях 86 см. Наибольшая корреляционная связь между запасами воды в снеге и суммы накопленных осадков – 0,863 высоты снега – 0,837, плотности снега – 0,738.

Однако в условиях аномально теплой зимы, ранней весны, минимальных запасов воды в снегу и дефиците весенних атмосферных осадков сельскохозяйственным предприятиям необходимо уделять особое внимание своевременному проведению мероприятий по ранневесеннему сохранению влаги в корнеобитаемом слое почвы. Также требуется оперативное проведение работ по боронованию зяби в период весенних полевых работ с целью обеспечения влаги и поддержания благоприятных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур.

Conclusions. The territory of the Ulyanovsk region has been covered with snow for a long time on average from November 23 to April 3, for 132 days, preventing sudden temperature changes in the soil and contributing to comfortable conditions for overwintering winter crops, playing one of the main roles in shaping the climate of the region. Over the years of research, the establishment of a stable snow cover and its destruction shifted by eleven days towards later formation and destruction with a fairly high confidence ($R^2=0.1076$). The duration of the snow cover does not undergo significant changes. In January 2010, the highest snow depth index ranged from 46 to 85 cm. However, the highest snow density value, equal to 0.38, was recorded at the end of the third decade of March 1998. This deviation was 23% of the average value. An increase in the thickness and density of the snow cover has a beneficial effect on an increase in water reserves in the snow, in some years they reached up to 175 mm, with an average of 86 cm. The greatest correlation between water reserves in snow and the amount of accumulated precipitation is 0.863 snow height -0.837, snow density -0.738.

However, in the conditions of an abnormally warm winter, early spring, minimal water reserves in the snow and a shortage of spring precipitation, agricultural enterprises need to pay special attention to the timely implementation of measures for early spring moisture conservation in the root layer of the soil. It also requires prompt harrowing of the finches during the spring field work in order to provide moisture and maintain favorable conditions for the growth and development of crops.

Библиографический список

1. Катцов В. М., Хлебникова Е. И., Школьник И. М. и др. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации. Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 46-58.
2. Виноградов Д. В., Ильинский А. В., Данчеев Д. В. Экология агроэкосистем. Рязань: ИП Жуков В. Ю., 2020. 256 с.
3. Данилова И. В., Онучин А. А. Пространственное распределение снегозапасов и динамика схода снежного покрова в центральной части Приенисейской Сибири. Метеорология и гидрология. 2021. № 1. С. 82-92.
4. Хлебникова Е. И., Рудакова Ю. Л., Салль И. А. и др. Изменение показателей экстремальности термического режима в XXI в.: ансамблевые оценки для территории России. Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 11-24.
5. Мохов И. И., Парфенова М. Р. Взаимосвязь площади снежного покрова в Северном полушарии по спутниковым данным с приповерхностной температурой. Метеорология и гидрология. 2022. № 2. С. 32-44.
6. Петров М. В., Шарипова Р. Б. Влияние лесных полос на формирование снежного покрова в агроландшафтах Приволжской возвышенности. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 223-232.
7. Пигольцина Г. Б., Фасолько Д. В. Методика расчета пространственного распределения высоты снежного покрова в условиях сложного рельефа при недостаточной метеорологической информации (на примере Анюйского хребта). Метеорология и гидрология. 2022. № 2. С. 45-52.
8. Бардин М. Ю., Ранькова Э. Я., Платова Т. В. и др. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга. Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 29-45.
9. Троц В. Б. Влияние защитных лесных полос на состояние и продуктивность агроландшафта. Аграрная Россия. 2017. № 11. С. 19-22.
10. Шарипова Р. Б. Тенденции изменения климата и агроклиматических ресурсов Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур. Ульяновск: УлГТУ, 2020. 138 с.
11. Cheremisinov A. Yu., Barinov V. N., Trukhina N. I. Relationships of nature, society, production and economics. Models and technologies of environmental management (regional aspect). 2019. № 1 (8). Pp. 8-15.
12. Hartmann A. The Hydrology of Groundwater Systems. Encyclopedia of Inland Waters. 2022. V. 3. Pp. 324-330.
13. Savinova A. A., Falynskova N. P. Biogenic elements in the environment and in living organisms. Innovative science. 2021. № 5. Pp. 25-28.

References

1. Kattsov V. M., Khlebnikova E. I., Shkolnik I. M., et al. Probabilistic scenario forecasting of the regional climate as the basis for the development of adaptation programs in the economy of the Russian Federation. Meteorology and hydrology. 2020. No 5. Pp. 46-58.
2. Vinogradov D. V., Ilyinsky A.V., Dancheev D. V. Ecology of agroecosystems. Ryazan: IP Zhukov V. Yu., 2020. 256 p.
3. Danilova I. V., Onuchin A. A. Spatial distribution of snow reserves and dynamics of snow cover in the central part of Yenisei Siberia. Meteorology and hydrology. 2021. No 1. Pp. 82-92.
4. Lebnikova E. I., Rudakova E. L., Sall I. A., et al. Changing pointers to the extremity of the thermal regime in the XXI century: analytical materials for the territory of Russia. Meteorology and hydrology. 2019. No 3. Pp. 11-24.
5. Mokhov I. I., Parfenova M. R. The relationship of the area of snow cover in the Northern hemisphere according to satellite data with near-surface temperature. Meteorology and hydrology. 2022. No 2. Pp. 32-44.
6. Petrov M. V., Sharipova R. B. The influence of forest strips on the formation of snow cover in agroforestry landscapes of the Volga upland. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity complex: science and higher professional education. 2023. No 4 (72). Pp. 223-232.
7. Pigoltsina G. B., Fasolko D. V. Methodology for calculating the spatial distribution of snow covers height in conditions of difficult terrain with insufficient meteorological information (on the example of the Anyu ridge). Meteorology and hydrology. 2022. No 2. Pp. 45-52.
8. Bardin M. Y., Rankova E. Ya., Platova T. V., et al. Modern changes in the surface climate based on the results of regular monitoring. Meteorology and hydrology. 2020. No 5. Pp. 29-45.
9. Trots V. B. The influence of protective forest strips on the condition and productivity of the agricultural landscape. Agrarian Russia. 2017. No 11. Pp. 19-22.
10. Sharipova R. B. Trends in climate change and agro-climatic resources of the Ulyanovsk region and their impact on grain yields. Ulyanovsk: UISTU, 2020. 138 p.
11. Cheremisinov A. Yu., Barinov V. N., Trukhina N. I. Interrelations of nature, society, production and economy. Models and technologies of environmental management (regional aspect). 2019. No 1 (8). Pp. 8-15.
12. Hartmann A. Hydrology of groundwater systems. Encyclopedia of Inland Waters. 2022. Vol. 3. Pp. 324-330.
13. Savinova A. A., Falynskova N. P. Biogenic elements in the environment and in living organisms. Innovative science. 2021. No 5. Pp. 25-28.

Информация об авторах

Шарипова Разида Бариевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, д. 19), e-mail: rezedasharipova63@mail.ru

Петров Максим Вячеславович, младший научный сотрудник отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, д. 19), e-mail: maxim120198@yandex.ru

Author's Information

Sharipova Razide Bariyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Department of Agriculture and Crop Cultivation Technologies, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture – branch of the SamNTs RAS (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky village, Institutskaya st., 19), e-mail: rezedasharipova63@mail.ru

Petrov Maksim Vyacheslavovich, Junior Researcher, Department of Agriculture and Crop Cultivation Technologies, Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture – branch of the SamRC RAS (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky village, Institutskaya st., 19), e-mail: maxim120198@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-17

THE CHANGE IN THE MAIN MORPHOLOGICAL SIGNS OF GRAIN PEA PLANTS AS A RESULT OF LONG-TERM BREEDING

Shaposhnikova Yu. V., Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V.

*Federal Rostov Agricultural Research Centre
Rassvet village, Rostov region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kornat58@mail.ru

Received 21.03.2024

Submitted 02.04.2024

**The research was carried out as part of the fulfillment of the state task on the topic FNFZ-2022-0004
«To create new genotypes of grain peas with high yield, increased manufacturability, grain quality,
resistance to the effects of biological and biotic stresses»**

Summary

The article presents the results of the study and analysis of changes in the main morphological characteristics of grain pea plants that occurred as a result of long-term breeding work with this crop, and also discusses the impact of these changes on the productivity and manufacturability of modern genotypes.

Abstract

Introduction. Despite the great economic importance and high demand for peas as the main grain legume, its prevalence in production is relatively small due to its relatively low manufacturability. There is a need to select and introduce into production modern high-tech varieties with a high level of productivity that meet the specific requirements of manufacturers. This will significantly reduce the material costs of growing seeds. The purpose of the research is to study and identify changes in the most important morphological characteristics and plant productivity in varieties of grain peas from three different breeding periods. **Materials and methods.** The research was carried out in the breeding crop rotation of the Federal State Budgetary Educational Institution FRANTZ in 2021-2023. To achieve this goal, we used the genotypes of grain peas, conditionally divided by us into 3 groups (ancient, varieties of selection of the 80s – 90s of the XX century and modern genotypes). In each of these groups, 6 varieties were studied. Field experiments, phenological observations, accounting and measurements were carried out in full. The material was harvested in sheaves, manually, as the varieties matured, structural analysis of plants was carried out in laboratory conditions. **Results and conclusions.** In our research, we have confirmed the presence of changes in the main morphological features of grain peas that have occurred over the past few decades of breeding work with the crop. A decrease in the total length of the stem by 31.3% was noted due to a 50% reduction in the length of the internodes. The minimum length of the stem to the first productive node in plants of new varieties increased by 0.9%, but did not fall below 47.8 cm, which indicates the formation of a more compressed fruiting zone in them. The total number of nodes in modern genotypes increased by 2.2%, of which unproductive nodes showed an increase of 10.4%, and fruiting ones – 6.4%. At the same time, the average productivity of the studied modern varieties of FGBNU FRANTZ increased by 44.8% compared to the old ones. **Conclusions.** Based on this, it can be assumed that the above-mentioned trends are positive and can be used as the main directions for subsequent breeding work. Modern, technologically advanced, highly productive varieties with a strong stable stem of medium length with shortened internodes and a more compact fruiting zone constitute an undeniable alternative to long-stemmed, strongly spreading genotypes of the old selection.

Keywords: grain peas, pea plants, pea breeding, grain pea varieties.

Citation. Shaposhnikova Yu. V., Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V. The change in the main morphological signs of grain pea plants as a result of long-term breeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 148-156 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-17.

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 author declares no conflict of interest.

УДК 633.358:631.527

ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ РАСТЕНИЙ ЗЕРНОВОГО ГОРОХА В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ**Шапошникова Ю. В.**, научный сотрудник**Коробова Н. А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник**Коробов А. П.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник**Пучкова Е. В.**, научный сотрудникФедеральный Ростовский аграрный научный центр
п. Рассвет, Ростовская область, Российская Федерация**Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания по теме
FNFZ-2022-0004 «Создать новые генотипы зернового гороха, обладающие высокой
урожаемостью, повышенной технологичностью, качеством зерна, устойчивостью к влиянию
абиотических и биотических стрессов»**

Актуальность. Несмотря на большое народнохозяйственное значение и востребованность гороха как основной зерновой бобовой культуры, распространенность его в производстве относительно мала из-за относительно низкой технологичности. Возникает необходимость селекционирования и внедрения в производство современных высокотехнологичных сортов с высоким уровнем продуктивности, соответствующих конкретным требованиям производителей. Это позволит существенно снизить материальные затраты на выращивание семян. **Цель исследований** – изучить и выявить изменения важнейших морфологических признаков и продуктивности растений у сортов зернового гороха трех разных периодов селекции. **Материалы и методы.** Исследования проводили в селекционном севообороте ФГБНУ ФРАНЦ в 2021-2023 годах. Для достижения поставленной цели использовали генотипы зернового гороха, условно разделенные нами на 3 группы (стародавние, сорта селекции 80-90-х годов XX века и современные генотипы). В каждой из этих групп изучали 6 сортообразцов. В полном объеме проведены полевые опыты, фенологические наблюдения, учеты и измерения. Материал убирали снопами, вручную, по мере созревания сортов, структурный анализ растений проводили в лабораторных условиях. **Результаты и выводы.** В своих исследованиях мы подтвердили наличие изменений основных морфологических признаков зернового гороха, произошедших за несколько последних десятилетий селекционной работы с культурой. Отмечено уменьшение общей длины стебля на 31,3% за счет сокращения на 50% длины междоузлий. Минимальная длина стебля до первого продуктивного узла у растений новых сортов увеличилась на 0,9%, но не опускалась ниже 47,8 см, что говорит о формировании у них более сжатой зоны плодonoшения. Общее количество узлов у современных генотипов увеличилось на 2,2%, из них непродуктивные узлы показали прибавку 10,4%, а плодonoсящие – 6,4%. При этом средняя продуктивность исследованных современных сортов ФГБНУ ФРАНЦ увеличилась, по сравнению со стародавними, на 44,8%. **Выводы.** Исходя из этого можно предположить, что выше-названные тенденции являются положительными и могут быть использованы в качестве основных направлений для последующей селекционной работы. Современные, технологичные, высокопродуктивные сорта, имеющие прочный устойчивый стебель средней длины с укороченными междоузлиями и более компактной зоной плодonoшения, составляют неоспоримую альтернативу длинностебельным, сильнополегающим генотипам старой селекции.

Ключевые слова: горох зерновой, растения гороха, селекция гороха, сорта гороха зернового.**Цитирование.** Шапошникова Ю. В., Коробова Н. А., Коробов А. П., Пучкова Е. В. Изменение основных морфологических признаков растений зернового гороха в результате длительной селекции. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 148-156. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-17.**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. Сектору зернобобовых культур в мировом аграрном хозяйстве по праву отводится чрезвычайно важная роль. Их возделывание способствует одновременному решению ряда задач: увеличению производства высокобелкового зерна для продовольственных целей, обеспечению животноводства качественными кормами [1], а также важному агроэкологическому воздействию растений за счет симбиотической фиксации азота, что повышает плодородие почвы [2]. Отличаясь повышенной азотфиксацией, новые сорта гороха оставляют после себя в почве до 70% биологического азота [3]. При высоких ценах на удобрения они, выступая в качестве предшественников, способствуют значительному

увеличению рентабельности производства зерна зерновых культур [4]. Помимо этого, ценность зернобобовых связана с получением экологически чистой или органической продукции растениеводства, что имеет немаловажное значение, особенно на современном этапе [5].

Одним из важнейших направлений современного растениеводства России является выращивание гороха. Его урожайность по сравнению с другими зернобобовыми относительно высока, благодаря чему удельный вес гороха составляет 77% в структуре валового сбора зерна данной группы [6]. В зерне бобовых, по сравнению со злаковыми, содержится в 2-3 раза больше протеина [7]. Будучи традиционной для России культурой, горох заслуживает особого внимания в плане наращивания производства кормового растительного белка [8].

Сложная экономическая ситуация в сельском хозяйстве нашей страны обуславливает необходимость создания и внедрения в производство новых, высокопродуктивных технологичных сортов гороха, отвечающих конкретным требованиям сельхозпроизводителей, что позволяет существенно сэкономить материальные и энергетические затраты на выращивание семян. Главным и неоспоримым резервом для достижения этой цели является селекция, перед которой, в условиях повышенных требований к качеству исходного продукта, ставятся весьма непростые задачи.

Метод ретроспективного анализа – одно из незаменимых звеньев селекционной работы. Он позволяет провести сравнительное изучение особенностей эволюции морфобиологических и хозяйственно-ценных признаков у стародавних и современных генотипов различных культур для уточнения изменений, которые произошли в них на протяжении длительной селекции, а также для прогнозирования возможностей целенаправленного улучшения этих признаков при создании новых высокотехнологичных сортов [9].

Цель исследований – сравнительное изучение изменений важнейших морфологических признаков и продуктивности растений у сортов зернового гороха трех разных периодов селекции.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в селекционном севообороте ФГБНУ ФРАНЦ в 2021-2023 годах. Почва участка – чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Содержание гумуса в пахотном слое – 4,0-4,1%. Содержание минерального азота и подвижного фосфора – низкое, обменного калия – повышенное. Реакция почвенного раствора – близка к нейтральной. Предшественник – озимая пшеница. Материалом для исследований служили образцы зернового гороха, условно разделенные нами на 3 временные группы создания и возделывания. В каждой из них исследовали по 6 генотипов. В первую группу вошли сорта, выведенные в разных селекционных учреждениях Советского Союза и широко возделываемые в сельскохозяйственном производстве страны в начале и середине прошлого столетия: Московский 572, Рамонский 77, Уладовский 8, Капитал, Виктория ранняя, Зерноградский. Во вторую группу включили сорта, районированные в 1980-1990-е годы прошлого столетия: Чишминский 229 (ГНУ Башкирский НИИСХ), Таловец 65 и Таловец 50 (ФГБНУ НИИСХ ЦЧП им. Докучаева), а также три сорта ФГБНУ ДЗНИИСХ Сармат, Аксайский усатый 5 и Аксайский усатый 7. К третьей группе мы отнесли современные сорта ФГБНУ ФРАНЦ (бывший ДЗНИИСХ) Атаман, Кадет, Премьер, Сотник, Амулет и Донец, которые внесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных в производство, в 2014-2021 годах.

Посев проводили вручную, широкорядно, с площадью питания растений 10х30 см в трехкратной повторности. Делянки – трехрядковые; посевная и учетная площади – 1 кв. м. Уборка вручную, снопами, по мере созревания сортов, для проведения структурного анализа растений в лабораторных условиях. Полевые опыты, фенологические наблюдения, учеты и измерения проводили, руководствуясь «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [10].

Математическая обработка выполнена в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. По данным Росстата, площади выращивания гороха в 2023 году хоть и выросли до 1899,6 тыс. га [11], но этого крайне мало для рационального развития сельского хозяйства страны. Причиной недостаточного распространения этой культуры в производстве является ее низкая технологичность при возделывании, связанная со склонностью растений к полеганию, израстанию во влажные годы, растрескиванием бобов и, соответственно, потерями зерна при созревании.

К числу главных недостатков гороха посевного относится длинный стебель [12]. Длина стебля – важнейший морфологический признак, способствующий повышению технологичности зернового гороха. Как известно, подавляющее большинство первых промышленных сортов этой культуры было представлено длинностебельными облиственными морфотипами. Растения обладали растянутым вегетационным периодом, рано полегали, что вызывало загнивание и подпревание нижних бобов и листьев, осыпание семян [13]. При полегании растений гороха происходит ухудшение физиологических показателей продукционного процесса и снижение сухой массы надземных органов в среднем на 31%, а массы семян на 41% [14].

Селекционная работа с такими сортами позволила в свое время добиться существенного ограничения бокового побегообразования (в среднем в 1,6 раза), а в последующем и значительного уменьшения высоты растений (в среднем на 46,9%). Однако наиболее значимые изменения морфотипа были достигнуты на рубеже 80-х годов XX века посредством отбора форм с физиологически и генетически ограниченным ростом стебля и с видоизмененными (усатыми) листьями [6]. В таких ценозах происходит прочное сцепление растений между собой с образованием крепкого стеблестоя, в котором создаются благоприятные условия для аэрации и инсоляции нижнего яруса растений.

На современном этапе селекции наблюдается устойчивая тенденция к получению и последующему внедрению в производство среднерослых генотипов зернового гороха с длиной стебля 60-80 см, обладающих, как правило, «усатым» типом листа. Запас прочности для противостояния неблагоприятным природным факторам у стеблей современных высокоурожайных сортов этой культуры обеспечивается более развитой механической тканью соломины, а внутри стебля формируется хорошо развитая транспортная система, способствующая лучшему снабжению генеративных органов ассимилянтами [15]. Как показали исследования, современные сорта гороха преимущественно короткостебельные и малооблиственные (14-16 листьев), с небольшой листовой поверхностью (400-600 см² на растение), числом продуктивных узлов (3-4) и бобов (5-6) [16].

Благодаря высокой технологичности, растения таких сортов хорошо приспособлены к высокопроизводительной уборке прямым комбайнированием.

В наших опытах тенденция к уменьшению общей длины стебля в процессе селекции была очевидной. Все стародавние образцы имели длинный полегающий стебель с усредненной длиной 98,9 см, размах по группе составил от 93,3 см (Рамонский 77, Рамонская ОСС) до 104,3 см (Зерноградский, ВНИИЗК). У генотипов 80-90-х годов данный показатель снизился на 23,8%. При среднем трехгодичном значении 75,4 см минимальная длина (65,3 см) была зафиксирована у Таловца 65, максимальная – 84,2 см у Таловца 50, селекционированных в ФГБНУ НИИСХ ЦЧП им. Докучаева. У современных сортов ФГБНУ ФРАНЦ уменьшение общей длины стебля оказалось значительным, разница со стародавними сортами составила уже 31,3% при среднем значении 68 см (рисунок 1). Все представители этой группы оказались среднерослыми, с общей длиной стебля от 64,2 см у безлисткового Атамана до 74,0 см у облиственного сорта Кадет.

Длина стебля до 1-го плодоносящего узла является вторым, не менее важным морфологическим показателем пригодности сорта к механизированной уборке, а значит, определяющим его технологичность. Предпочтительно, чтобы высота прикрепления нижнего боба у растений современных сортов не была ниже 40- 45 см. Это позволяет регулировать высоту среза стебля без риска потери наиболее крупных семян нижних ярусов [15].

В группе стародавних сортов средняя трехгодичная длина стебля до первого фертильного узла составила 53,8 см, не опустившись ниже 44,2 см (Уладовский 8, Уладово-Люлинецкая ОСС) и не превысив 68,4 см (Рамонский 77, Рамонская ОСС). Группа сортов 80-90-х годов показала незначительное снижение величины до 53,0 см (-1,5%). У одного из представителей – Таловца 65 (ФГБНУ НИИСХ ЦЧП им. Докучаева), высота прикрепления нижнего боба была ниже технологической нормы, составив 37,6 см. Максимум по группе не превысил 63,8 см (Таловец 50, ФГБНУ НИИСХ ЦЧП им. Докучаева). Среди современных генотипов ФГБНУ ФРАНЦ, со средней длиной стебля до 1-го плодоносящего узла 54,3 см разброс составил 47,8 (Атаман) – 65,0 см (Кадет). По сравнению со старыми длинностебельными сортами величина показателя выросла на 0,9%, что связано с формированием более компактной зоны плодоношения (рисунок 2).



Рисунок 1 – Средняя общая длина стебля, см, 2021-2023 гг.

(1 – стародавние сорта; 2 – сорта селекции 80-90-х годов XX века; 3 – современные сорта)

Figure 1 – The average total length of the stem, cm, 2021-2023 (1 – ancient varieties, 2 – breeding varieties of the 80-90s of the XX century, 3 – modern varieties)



Рисунок 2 – Средняя длина стебля до первого плодоносящего узла, см, 2021-2023 гг.

(1 – стародавние сорта; 2 – сорта селекции 80-90-х годов XX века; 3 – современные сорта)

Figure 2 – The average length of the stem to the first fruiting node, cm, 2021-2023 (1 – ancient varieties, 2 – breeding varieties of the 80-90s of the XX century, 3 – modern varieties)

Длина междоузлия у растений зернового гороха – важный структурный признак, с помощью которого можно вести селекционную работу по уменьшению высоты растений. Большой практический интерес представляет не снижение количества междоузлий, а уменьшение их длины, так как при этом сохраняется размер фотосинтезирующей поверхности и потенциал семенной продуктивности на уровне продуктивных узлов [17]. Исследования показали, что у длинностебельных старых сортов с длинными тонкими междоузлиями бобы распределены по всей длине стебля, созревание их происходит неравномерно. У среднерослых генотипов с прочными укороченными междоузлиями бобы располагаются сжато, плодоношение идет более дружно.

В своих опытах мы отметили, что в процессе длительной селекции произошло весьма ощутимое уменьшение длины междоузлий. Средний показатель у группы стародавних сортов составил 9,6 см, тогда как в группе сортов конца XX века он снизился на 23% (7,4 см), а у современных генотипов – уже наполовину, составив 4,8 см (рисунок 3).

Количество узлов до 1-го плодоносящего узла (непродуктивных) у образцов первой и второй групп было одинаковым – 15,4 шт. на растение, однако у современных сортов возросло до 17,2 шт. (+ 10,4%), благодаря более сжатой зоне плодоношения (рисунок 4).

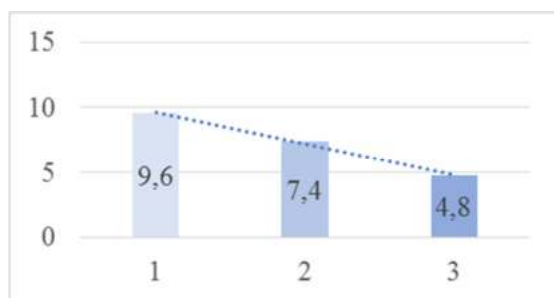


Рисунок 3 – Средняя длина междоузлия, см, 2021-2023 гг. (1 – стародавние сорта; 2 – сорта селекции 80-90-х годов XX века; 3 – современные сорта)

Figure 3 – Average internode length, cm, 2021-2023 (1 – ancient varieties, 2 – breeding varieties of the 80-90s of the XX century, 3 – modern varieties)

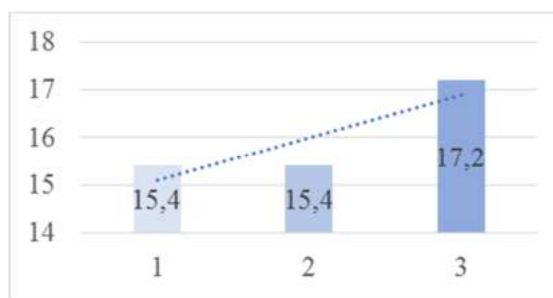


Рисунок 4 – Среднее количество узлов до первого плодоносящего узла, шт., 2021-2023 гг. (1 – стародавние сорта; 2 – сорта селекции 80-90-х годов XX века; 3 – современные сорта)

Figure 4 – The average number of nodes before the first fruiting node, pcs., 2021-2023. (1 – ancient varieties, 2 – breeding varieties of the 80-90s of the XX century, 3 – modern varieties)

Общее количество узлов на растениях практически не изменилось – 21,7 шт. у стародавних и 22,2 шт. у новых генотипов (+ 2,2%). Группа сортов селекции 80-90-х годов показала незначительное снижение этого показателя (20,5 шт. или – 5,5%) относительно старых сортов (рисунок 5). И связано это с уменьшением общей длины стебля.

Количество плодоносящих узлов у стародавних сортов составило, в среднем, 5,8 шт. на растение. У образцов 80-90-х годов число фертильных узлов было ниже на 20,7% (4,6 шт.), что, скорее всего, связано с уменьшением у них общего количества узлов. А третья, современная группа, показала рост количества продуктивных узлов на 6,4% (6,2 шт.), что, несомненно, связано с успехами современной селекции (рисунок 6).

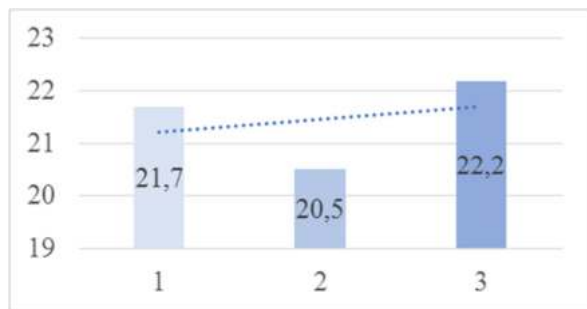


Рисунок 5 – Среднее общее количество узлов, шт., 2021-2023 гг. (1 – стародавние сорта; 2 – сорта селекции 80-90-х годов XX века; 3 – современные сорта)

Figure 5 – Average total number of nodes, pcs., 2021-2023 (1 – ancient varieties, 2 – breeding varieties of the 80-90s of the XX century, 3 – modern varieties)

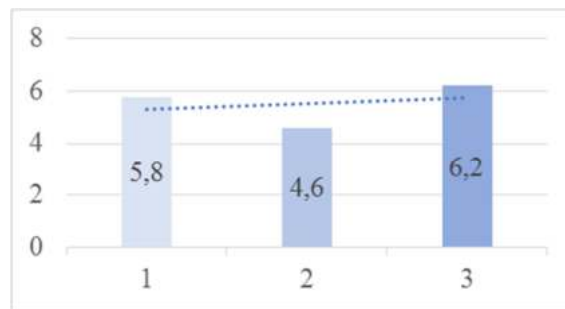


Рисунок 6 – Среднее количество плодоносящих узлов, шт., 2021-2023 гг. (1 – стародавние сорта; 2 – сорта селекции 80-90-х годов XX века; 3 – современные сорта)

Figure 6 – Average number of fruit-bearing nodes, pcs., 2021-2023 (1 – ancient varieties, 2 – breeding varieties of the 80-90s XX century, 3 – modern varieties)

По мере замещения длинностебельных сильнополегающих сортов облиственного морфотипа безлисточковыми генотипами со средней длиной стебля, компактной зоной плодоношения и увеличившимся количеством продуктивных узлов, прослеживается устойчивая тенденция роста продуктивности и технологичности растений (таблица).

Известно, что облиственные сорта в целом более продуктивны, чем усатые, однако это несколько не умаляет ценности последних. Высокие технологические качества безлисточковых генотипов позволяют им выдерживать различные стрессовые погодные факторы в период уборки (ливни, шквалистый ветер, перестой растений на корню).

В наших опытах продуктивность старых облиственных сортов определялась в диапазоне 3,6-6,6 г. В силу морфологических особенностей, уровень их технологичности был минимальным (1).

Продуктивность промышленных усатых генотипов 80-90-х гг. была несколько ниже, чем у образцов листочкового морфотипа этой же группы, однако их технологичность смогла достичь среднего уровня (3), превывсив аналогичный показатель облиственных (1, 2).

Продуктивность современных сортообразцов зернового гороха ФГБНУ ФРАНЦ не опускалась ниже 8,2 г. Максимальное значение (9,3 г) отмечено у листочкового сорта Кадет, но его технологичность не превышала оценку «4». В то же время все пять усатых генотипов обладали наивысшим, пятым уровнем предуборочных характеристик (прочный устойчивый стебель, мощный неполегающий стеблестой). А наш лучший усатый сорт Донец уступил по продуктивности облиственному Кадету совсем незначительно (8,8 г).

Новые сорта селекции ФГБНУ ФРАНЦ Премьер, Сотник, Амулет и Донец отличаются хорошими технологическими и продуктивными характеристиками. Все они обладают мощным стеблестоем и легко убираются прямым комбайнированием. По результатам испытания в ГСИ в благоприятные по погодным условиям годы их реализованная урожайность достигает 4,5-7,4 т/га. Кроме того, Премьер и Амулет признаны ценными по качеству зерна (высокое содержание протеина, хорошие пищевые достоинства), что очень важно для обеспечения и человека, и животноводческой отрасли высокоценным продуктом. Данные генотипы вполне конкурентоспособны на мировом уровне и могут участвовать в импортозамещении аналогичных сортов в нашей стране.

Таблица – Средняя продуктивность и технологичность у исследуемых групп сортов зернового гороха, 2021-2023 гг., г

Table – Average productivity and processability in the studied groups of grain pea varieties, 2021-2023, g

Группа / Group	Название сорта / Variety Name	Морфотип – Morphotype	В среднем за 2021-2023 гг. / Average for 2021-2023	По группам сортов, 2021-2023 гг. / By groups of varieties, 2021-2023	Прирост относительно стародавних, % / Increase relative to the old-est, %	Уровень технологичности / Level of manufacturability
Стародавние сорта / Ancient varieties	Московский 572 / Moskovsky 572	обл.	3,6	4,8	-	1
	Рамонский 77 / Ramonsky 77	обл.	3,8			1
	Уладовский 8 / Uladovskiy 8	обл.	4,4			1
	Виктория ранняя / Victoria Early	обл.	5,3			1
	Зерноградский / Zernogradskiy	обл.	5,4			1
	Капитал / Capital	обл.	6,6			1
Сорта 80-90 гг. XX века / Varieties of the 80-90s of the XX century	Аксацкий усатый 5 / Aksaickii usaty 5	ус.	6,6	7,2	+ 33,3	3
	Чишминский 229 / Chishminsky 229	обл.	6,9			1
	Аксацкий усатый 7 / Aksaickii usaty 7	ус.	7,2			3
	Таловец 50 / Talovets 50	обл.	7,4			2
	Сармат / Sarmat	обл.	7,5			2
	Таловец 65 / Talovets 65	обл.	7,9			2
Современные сорта ФГБНУ ФРАНЦ / Modern varieties of FGBU FRANZ	Атаман / Ataman	ус.	8,2	8,7	+ 44,8	5
	Премьер / Premier	ус.	8,4			5
	Сотник / Sotnik	ус.	8,6			5
	Амулет / Amulet	ус.	8,7			5
	Донец / Donets	ус.	8,8			5
	Кадет / Kadet	обл.	9,3			4

Выводы. В результате проведенных нами трехгодичных опытов выявлены следующие структурные изменения основных морфологических показателей растений зернового гороха, произошедшие в процессе длительной селекции:

- общая длина стеблей современных генотипов ФГБНУ ФРАНЦ, по сравнению со стародавними сортами, уменьшилась на 31,3%, благодаря укорочению на 50% длины междоузлий. Она находилась в пределах 64,2-74 см, что вполне соответствует технологическим требованиям к промышленным сортам нашего времени;

- длина стебля до первого фертильного узла у растений новых сортов увеличилась на 0,9%, но не опускалась ниже 47,8 см, что делает их вполне пригодными для механизированной уборки прямым комбайнированием;

- общее количество узлов у современных сортов прибавилось на 2,2%, при этом число непродуктивных узлов выросло на 10,4%, а число плодоносящих узлов – на 6,4%, что, при наличии компактной зоны плодоношения, весьма благоприятно.

Учитывая, что на фоне этого продуктивность новых генотипов выросла на 44,8%, можно предположить, что вышеуказанные тенденции являются положительными и могут быть использованы в качестве основных направлений для последующей селекционной работы.

Conclusions. As a result of our three-year experiments, the following structural changes in the main morphological parameters of grain pea plants that occurred during long-term breeding were revealed:

- the total length of stems of modern genotypes of FGBU FRANTZ, compared with ancient varieties, decreased by 31.3%, due to a 50% shortening of the length of the internodes. It was in the range of 64.2-74 cm, which fully meets the technological requirements for industrial varieties of our time;

- the length of the stem to the first fertile node in plants of new varieties increased by 0.9%, but did not fall below 47.8 cm, which makes them quite suitable for mechanized harvesting by direct combine;

- the total number of nodes in modern varieties has increased by 2.2%, while the number of unproductive nodes has increased by 10.4%, and the number of fruiting nodes by 6.4%, which, in the presence of a compact fruiting zone, is very favorable.

Considering that against this background, the productivity of new genotypes increased by 44.8%, it can be assumed that the above trends are positive and can be used as preliminary directions for subsequent breeding work.

Библиографический список

1. Пучкова Е. В., Коробова Н. А., Коробов А. П. Продуктивность и технологичность стародавних и современных сортов гороха донской селекции. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. Т. 1-2. № 40. С. 40-44.
2. Mazur V., Tkachuk O., Pansyryeva N., Kupchuk I., Mordvaniuk M., Chynchyk O. Ecological suitability peas (*Pisum Sativum*) varieties to climate change in Ukraine. Journal of Agricultural Science. 2021. V. 32. № 2. Pp. 276-283.
3. Давлетов Ф. А., Гайнуллина К. П. Сравнительное изучение хозяйственно-биологических признаков у сортов гороха, созданных в Республике Башкортостан за последние 30 лет. Известия Оренбургского Государственного аграрного университета. 2020. № 4 (84). С. 72-77.
4. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 4. С. 381-387.
5. Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Грядунова Н. В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2 (26). С. 4-9.
6. Амелин А. В. Особенности изменений параметров габитуса, роста и развития растений гороха в результате селекции на семенную продуктивность. Вестник аграрной науки. 2021. № 3 (90). С. 26-36.
7. De Ron A. M., Spravoli F., Pueyo J. J., Bazile D. Editorial: protein gross: food and feed for the future. Frontiers in Plant science. 2017. № 8.
8. Зотиков В. И. Зернобобовые и крупяные культуры – актуальное направление повышения качества продукции. Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 3 (23). С. 23-28.
9. Давлетов Ф. Ф., Гайнуллина К. П., Каримов И. К. Сравнительное изучение морфобиологических и хозяйственно-ценных признаков гороха стародавних и современных сортов. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (40). С. 21-30.
10. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1971. Вып. 1. 248 с., Вып. 2. 240 с.
11. Маркетинговое исследование российского рынка гороха. 2023. <https://апк76.рф/?p=7353&ysclid=lpriedbs1h728713108>.
12. Лихачева Л. И., Москалев А. В. Взаимосвязь элементов продуктивности у гороха с усатым и листочковым морфотипом. Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 6. С. 15-19.
13. Коробова Н. А., Коробов А. П., Лысенко А. А., Пучкова Е. В., Шапошникова Ю. В. Сравнительная характеристика районированных сортов гороха Донской селекции. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 3 (31). С. 34-41.
14. Зеленов А. Н., Зеленов А. А. Сто лет Орловской селекции гороха. Итоги и перспективы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 2 (42). С. 41-59.
15. Коробова Н. А., Шапошникова Ю. В. Анализ основных морфологических признаков растений зернового гороха в ретроспективном аспекте. Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса. ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», 2020. С. 228-232.
16. Амелин А. В., Чекалин Е. И. Адаптивные способности растений гороха и их изменения в результате селекции (Обзорная статья). Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 2 (30). С. 4-14.
17. Котляр И. П., Шмыкова Н. А. Повышение устойчивости гороха овощного к полеганию. Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 4 (12). С. 79-82.

References

1. Puchkova E. V., Korobova N. A., Korobov A. P. Productivity and technology of ancient and modern varieties of peas of the Don selection. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2020. Vol. 1-2. No 40. Pp. 40-44.
2. Mazur V., Tkachuk O., Pansyryeva N., Kupchuk I., Mordvaniuk M., Chynchyk O. Ecological suitability peas (*Pisum Sativum*) varieties to climate change in Ukraine. Journal of Agricultural Science. 2021. V. 32. № 2. Pp. 276-283.
3. Davletov F. A., Gainullina K. P. Comparative study of economic and biological characteristics of pea varieties created in the Republic of Bashkortostan over the past 30 years. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No 4 (84). Pp. 72-77.
4. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Modern selection of leguminous and cruciferous crops in Russia. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. Vol. 25. No 4. Pp. 381-387.
5. Zotikov V. I., Sidorenko V. S., Grydunova N. V. Development of leguminous crops production in the Russian Federation. Legumes and cereals. 2018. No 2 (26). Pp. 4-9.
6. Amelin A. V. Peculiarities of changes in the parameters of habitus, growth and development of pea plants as a result of selection for seed productivity. Bulletin of Agrarian Science. 2021. No 3 (90). Pp. 26-36.
7. Duron A. M., Spravoli F., Pueyo J. J., Basile D. Editorial: protein gross: food and feed for the future. Frontiers in Plant science. 2017. № 8.
8. Zotikov V. I. Leguminous and cereal crops are an urgent direction for improving product quality. Legumes and cereals. 2017. No 3 (23). Pp. 23-28.
9. Davletov F. F., Gainullina K. P., Karimov I. K. Comparative study of morphobiological and economically valuable characteristics of peas of ancient and modern varieties. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2016. No 4 (40). Pp. 21-30.

10. Methodology of State variety testing of agricultural crops. M.: Kolos, 1971. I. 1. 248 p. I. 2. 240 p.
11. Marketing research of the Russian pea market. 2023. <https://an76.pdf/?p=7353&ysclid=lpdrdiels1h728713108>.
12. Likhacheva L. I., Moskalev A. V. The relationship of productivity elements in peas with the mustachioed and leafy morphotype. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2021. Vol. 35. No 6. Pp. 15-19.
13. Korobova N. A., Korobov A. P., Lysenko A. A., Puchkova E. V., Shaposhnikova Yu. V. Comparative characteristics of zoned varieties of peas of the Don selection. Legumes and cereals. 2019. No 3 (31). Pp. 34-41.
14. Zelenov A. N., Zelenov A. A. One hundred years of Orel pea breeding. Results and prospects. Legumes and cereals. 2022. No 2 (42). Pp. 41-59.
15. Korobova N. A., Shaposhnikova Yu. V. Analysis of the main morphological features of grain pea plants in a retrospective aspect. Results and prospects of development of the agro-industrial complex. Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2020. Pp. 228-232.
16. Amelin A. V., Chekalin E. I. Adaptive abilities of pea plants and their changes as a result of breeding (Review article). Legumes and cereals. 2019. № 2 (30). Pp. 4-14.
17. Kotlyar I. P., Shmykova N. A. Increasing the resistance of vegetable peas to lodging. Legumes and cereals. 2014. No 4 (12). Pp. 79-82.

Информация об авторах

Шапошникова Юлия Владимировна, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1), ORCID: 0000-0003-3627-4532, e-mail: juliasha.72@yandex.ru

Коробова Наталья Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции и семеноводства гороха ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1), ORCID: 0000-0003-3363-4395, e-mail: kornat58@mail.ru

Коробов Андрей Петрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1), ORCID: 0000-0002-0879-8470, e-mail: korobov1956@internet.ru

Пучкова Елена Викторовна, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1), ORCID: 0000-0002-7464-3047, e-mail: elena.puchkova.68@mail.ru

Author's Information

Shaposhnikova Yulia Vladimirovna, researcher of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Rostov Agricultural Research Centre» (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksai District, Rassvet village, Institutskaya St., 1), ORCID: 0000-0003-3627-4532, e-mail: juliasha.72@yandex.ru

Korobova Natalya Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, Head of the Laboratory of breeding and seed production of legumes of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Rostov Agricultural Research Centre» (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksai District, Rassvet village, Institutskaya St., 1), ORCID: 0000-0003-3363-4395, e-mail: kornat58@mail.ru

Korobov Andrey Petrovich, Candidate of Biological Sciences, senior of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Rostov Agricultural Research Centre» (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksai District, Rassvet village, Institutskaya St., 1), ORCID: 0000-0002-0879-8470, e-mail: korobov1956@internet.ru

Puchkova Elena Viktorovna, researcher of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Rostov Agricultural Research Centre» (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksai District, Rassvet village, Institutskaya St., 1), ORCID: 0000-0002-7464-3047, e-mail: elena.puchkova.68@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-18

AGROCLIMATIC CONDITIONS OF THE KAZAN-VESHENSKY SAND MASSIF

¹Archakov D. I., ²Turchin T. Y., ³Kulakova E. S.¹Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation²Federal State Budgetary Institution South European NILOS
Vyoshenskaya village, Rostov Region, Russian Federation³Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute DonGAU
Novocherkassk, Rostov Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: archakov-di@vanc.ru

Received 15.03.2024

Submitted 22.04.2024

The work was carried out within the framework of a state assignment Federal Scientific Center for Agroecology RAS No. FNFE-2022-0011 «Development of a new methodology optimal management of bioresources in agricultural landscapes of the arid zone of the Russian Federation using system-dynamic modeling of soil-hydrological processes, a comprehensive assessment of the impact of climate change and anthropogenic loads on agrobiological potential and forest conditions»

Summary

The article presents the results of the assessment of agroclimatic conditions on the territory of the Kazan-Veshensky sand massif. Based on archival data from six weather stations, it was found that, according to the Selyaninov hydrothermal coefficient, the sandy massif is located in the zone of typical steppes, and according to the normalized aridity index, it belongs to a weakly arid territory.

Abstract

Introduction. The climatic factor has played an important role in human activity throughout history. This issue is especially relevant during the period of active development of territories for economic activity. Key climate indicators require constant monitoring and updating of data. **Object.** The object of the study is the agroclimatic conditions of the Kazan-Veshensky sand massif. **Materials and methods.** Based on archival data since 1962, the average annual precipitation and average annual air temperature were calculated. At six weather stations using database information from 2012 to 2022 the direction and speed of the wind were established and the impact of climate productivity on agricultural production was assessed using agroclimatic indicators. **Results and conclusions.** The average long-term temperature is in the range of 7.56-8.15°C, and the average long-term precipitation is 422.84-518.21 mm. The dominant directions of air masses are the winds of the western and eastern directions. The average frequency of dangerous winds is 10 times a year. The sum of active temperatures was 3383-3427°C. According to the normalized aridity index (NIA), this territory is slightly arid and, according to the Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC), belongs to the zone of typical steppes. Thus, the territory of the Kazan-Veshensky sand massif is located in a zone with homogeneous agro-climatic conditions.

Keywords: sandy soils, aridity index, hydrothermal coefficient.

Citation. Archakov D. I., Turchin T. Y., Kulakova E. S. Agroclimatic conditions of the Kazan-Veshensky sand massif. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 156-165 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-18.

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 551.50

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КАЗАНСКО-ВЕШЕНСКОГО ПЕСЧАНОГО МАССИВА

¹Арчаков Д. И., младший научный сотрудник

²Турчин Т. Я., доктор сельскохозяйственных наук, директор

³Кулакова Е. С., кандидат технических наук, доцент

¹ФНЦ агроэкологии РАН

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБУ Южно-европейская НИЛОС

станция Вешенская, Ростовская область, Российская Федерация

³НИМИ ДонГАУ

г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН № FNFE-2022-0011 «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических изменений и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия»

Актуальность. Климатический фактор на протяжении всей истории играл важную роль в деятельности человека. Данный вопрос особенно актуален в период активного освоения территорий для хозяйственной деятельности. Ключевые климатические показатели требуют постоянного мониторинга и актуализации данных. **Объект.** Объектом исследования являются агроклиматические условия Казанско-Вешенского песчаного массива. **Материалы и методы.** Основываясь на архивных данных с 1962 г. рассчитаны показатели среднегодового количества осадков, среднегодовой температуры воздуха. На шести метеостанциях с использованием информации базы данных с 2012 по 2022 гг. установлены направление и скорость ветра и проведена оценка влияния продуктивности климата на сельскохозяйственное производство с помощью агроклиматических показателей. **Результаты и выводы.** Средняя многолетняя температура в диапазоне 7,56-8,15°C, а среднее многолетнее количество осадков составляет 422,84-518,21 мм. Господствующими направлениями воздушных масс являются ветра западного и восточного румба. Средняя повторяемость опасных ветров составляет 10 раз в год. Сумма активных температур составила 3383-3427°C. По нормализованному индексу аридности (NIA) данная территория является слабоаридной и согласно гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК) относится к зоне типичных степей. Таким образом, территория Казанско-Вешенского песчаного массива расположена в зоне с однородными агроклиматическими условиями.

Ключевые слова: песчаные почвы, индекс аридности, гидротермический коэффициент.

Цитирование. Арчаков Д. И., Турчин Т. Я., Кулакова Е. С. Агроклиматические условия Казанско-Вешенского песчаного массива. *Известия НВ АУК*. 2024. 2(74). 156-165. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-16.

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 зависимости от географического положения, т.е. расположения относительно климатических поясов, крупных рек, морей и океанов, высоты над уровнем моря и системы циркуляции атмосферного воздуха складывается погодный режим (климатические условия) той или иной местности.

Климатические условия, как один из ландшафтных компонентов, играют важнейшую роль в формировании растительного и почвенного покрова местности. Это проявляется водном и тепловом режиме (атмосферные осадки, испарение, температура) (Пески и песчаные...Гаель, 1999; Пески Донской области... Полюнов, 1927) [1, 2].

Ростовская область, по классификации Б. П. Алисова, расположена в зоне умеренно-континентального климата с недостаточным увлажнением, которая характеризуется сравнительно несуровой зимой (декабрь, январь, февраль), короткой сухой и ветреной весной (март, апрель), продолжительным жарким засушливым летом (май-сентябрь), короткой сухой осенью (октябрь, ноябрь). Если рассматривать по классификации академика Л.С. Берга, в основу которой положен принцип географической зональности, то область относится к климату степей. Растительный покров субъекта представлен степным, лесным, луговым и болотным типами. Почвы составляют несколько видов чернозема (обыкновенные, южные, приазовские и предкавказские), каштановые, пойменно-луговые и песчаные (Ростовская область. Атлас, ФГУП «Южное АГП», 2008; Естественные степные дубравы... Турчин, 2004; Математико-картографическое моделирование... Матвеев, 2023).

В работе, с использованием архивных метеоданных и методов дистанционного зондирования Земли, рассматриваются агроклиматические условия Казанско-Вешенский песчаного массива, занимающий площадь около 118 тыс. га на севере Ростовской области (территории Шолоховского и Верхнедонского районов). В физико-географическом плане песчаный массив расположен на южной оконечности Калачской возвышенности, с юга ограничен р. Дон, с запада – р. Песковатка, а с севера и востока зональным типом почв (чернозем южный). На самом массиве представлены легкие песчаные почвы. Зональным типом растительности является степная, лесная – экстразональная. Согласно климатическому районированию рассматриваемая территория относится к Донецко-Донскому климатическому району, для которого характерна неустойчивая зима и умеренно-засушливое лето.

Материалы и методы. Источниками базовой информации служат архивы погоды с 1962 г., а также материалы с базы данных «Климатические показатели для оценки и моделирования фитоэкологических условий и прогноза динамики процессов деградации экосистем с 2012 по 2022 гг.», а также 6-ти метеорологических станций, расположенных в Волгоградской, Ростовской и Воронежской областях в период с 01.01.2012 по 31.12.2022 гг. (рисунок 1) (База данных климатических...Кулик, 2023).

Основываясь на архивных данных с 1962 г. рассчитаны такие показатели, как среднегодовое количество осадков, среднегодовая температура воздуха. На каждой метеостанции с 2012 по 2022 гг. рассматривались показатели направления и скорости ветра, рассчитывались количественные климатические индексы (агроклиматических показатели) для установления влияния продуктивности климата на сельскохозяйственное производство. Такими агроклиматическими показателями являются сумма активных температур, нормализованный индекс аридности (NIA) и гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК). Полученные результаты наблюдений интерполировались в ГИС-программе [3-8].

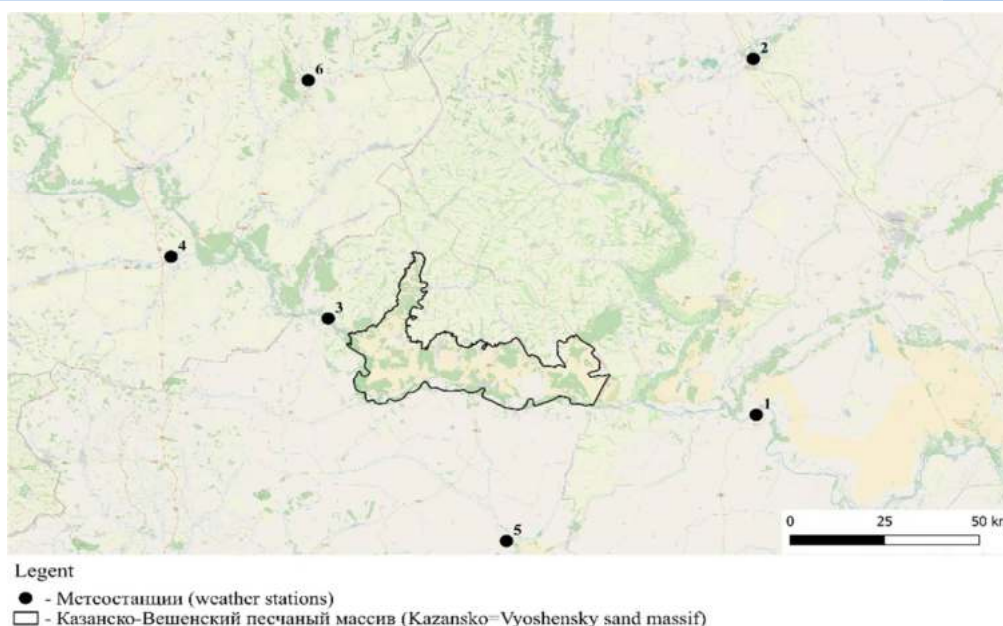


Рисунок 1 – Местоположение метеостанций

Условные обозначения: 1 – г. Серафимович (№ 34357); 2 – г. Новоаннинский (№ 34254); 3 – ст. Казанская (№ 34344); 4 – г. Богучар (№ 34336); 5 – ст. Боковская (№ 34445); 6 – г. Калач (№ 34247)

Figure 1 – Location of weather stations

Symbols: 1 – Serafimovich (No. 34357); 2 – Novoanninsky (No. 34254); 3 – Kazanskaya (No. 34344); 4 – Boguchar (No. 34336); 5 – Bokovskaya (No. 34445); 6 – Kalach (No. 34247)

Индекс аридности (IA) рассчитывается по формуле А.С. Мезенцева и представляет выражение годовых сумм осадков и испаряемости, определяемой по сумме среднемесячных положительных температур воздуха за теплый период. На основе данного индекса Б.В. Виноградов с соавторами разработал нормализованный индекс аридности [9].

$$IA = \frac{P}{5.88 \cdot T + 260} \quad (1)$$

$$NIA = 1 - IA \quad (2)$$

где P – годовая сумма осадков; T – сумма среднемесячных температур воздуха за апрель-октябрь.

По показателям NIA выделены пять природных зон: >0,7 – аридная; 0,6-0,7 – среднеаридная; 0,5-0,6 – умеренно аридная; 0,4-0,5 – слабоаридная; <0,4 – периодически аридная (Картографирование климатической аридности... Виноградов, 1995).

В условиях неполивного земледелия продуктивность растений при наличии других факторов роста определяется влагой. Гидротермический коэффициент Селянинова характеризует увлажнение в период со среднесуточными температурами воздуха выше 10°C (период вегетации) (3) (Доклад об особенностях... РОСГИДРОМЕТ, 2021; Агроклиматические показатели Ульяновской... Губарев, 2016).

$$ГТК = \frac{10 \cdot \sum P}{\sum T} \quad (3)$$

где P – сумма осадков за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10 °C, мм; T – сумма среднесуточных температур воздуха за тот же период, °C.

По гидротермическим условиям Г.Т. Селяниновым (1958) на основе ГТК выделяются семь природных зон: >1,6 – тайга; 1,6-1,3 – тайга и лиственные леса; 1,3-1,0 – лесостепь; 1,0-0,7 – типичная степь; 0,7-0,4 – степь на южных черноземных и каштановых почвах; 0,4-0,2 – полупустыня; <0,2 – пустыня [10, 11].

Результаты и их обсуждение. Осадки и температура определяют зональные границы той или иной природной зоны и влияют на господство одного или нескольких типов растительности по территории исследования [12].

На основе метеорологических архивов получены данные и с помощью интерполяции по методу кригинга, составлены картосхемы среднегодовой температуры воздуха и количества атмосферных осадков с 1962 по 2022 гг. (рисунок 2).

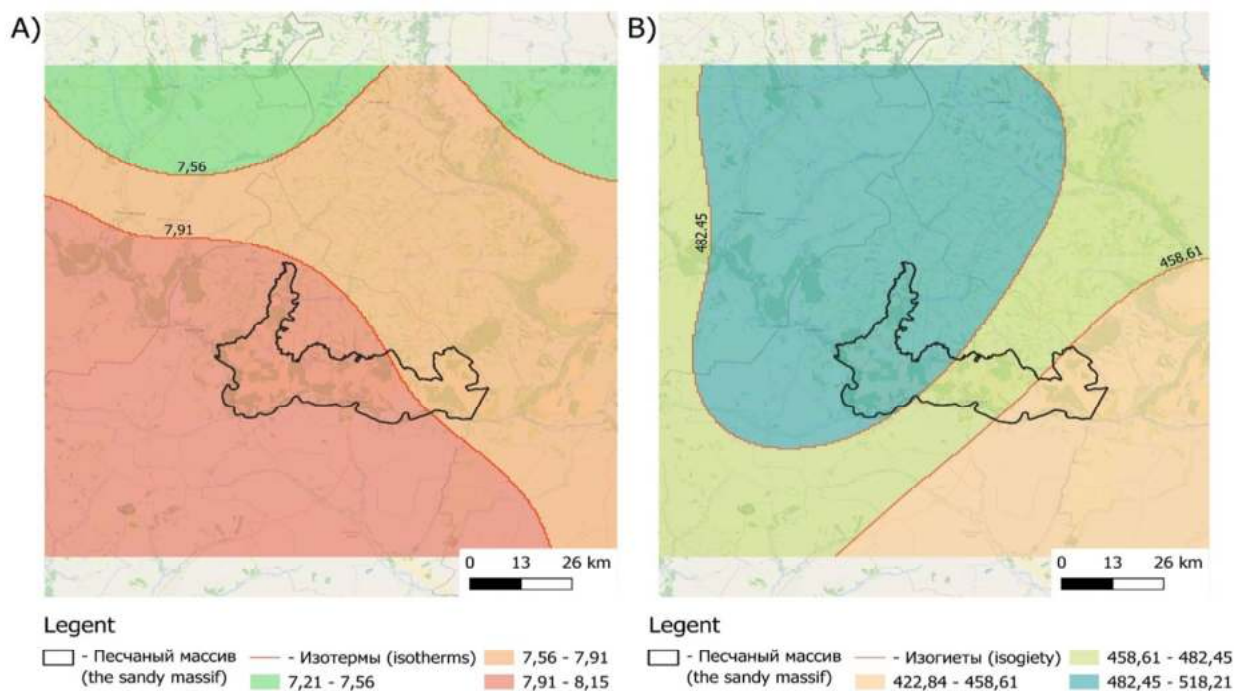


Рисунок 2 – А) Картосхема среднегодовой температуры воздуха ($t^{\circ}\text{C}$); В) среднегодового количества осадков (мм) с 1962 по 2022 гг.

Figure 2 – А) A cartographic diagram of the average annual air temperature ($t^{\circ}\text{C}$); В) the average annual precipitation (mm) from 1962 to 2022

При анализе изображения среднегодовой температуры территория Казанско-Вешенского песчаного массива располагается в температурном диапазоне от $7,56$ до $8,15^{\circ}\text{C}$, также массив пересекает изотерма $7,91^{\circ}\text{C}$. Около $1/3$ территории расположено в диапазоне $7,56-7,91^{\circ}\text{C}$, а остальная – $7,91-8,15^{\circ}\text{C}$. Севернее, на территориях Воронежской и Волгоградской областей расположена изотерма $7,56^{\circ}\text{C}$. Общая разница в температуре на рассматриваемой территории составляет менее 1°C . Данный фактор указывает на довольно равномерную структуру распределения температуры воздуха на песчаном массиве.

Осадки распределены неравномерно. Количество постепенно уменьшается в направлении с запада на восток от $518,21$ до $422,84$ мм. Через территорию массива проходят две изогеты $458,61$ и $482,45$ мм, которые условно делят территорию на три участка с разным количеством осадков – это зона от $422,84$ до $458,61$ мм, $458,61-482,45$ мм и $482,45-518,21$ мм. Данного количества атмосферных осадков (максимум выпадения которых приходится на июль) хватает для развития зональной степной растительности, а также роста древесных и кустарниковых пород. Например, для роста и развития лесных массивов из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) или крымской (*Pinus nigra subsp. pallasiana*), которые используются на песках Среднего Дона в качестве одного из приемов фитомилеоративного мероприятия для замедления процессов дефляции и закрепления песков.

Чтобы выявить долгосрочную динамику температуры воздуха и количества выпадения осадков с 1962 по 2022 гг., рассчитано среднее число по метеостанциям на основе которых построены графики с временным интервалом 10 лет (рисунок 3).

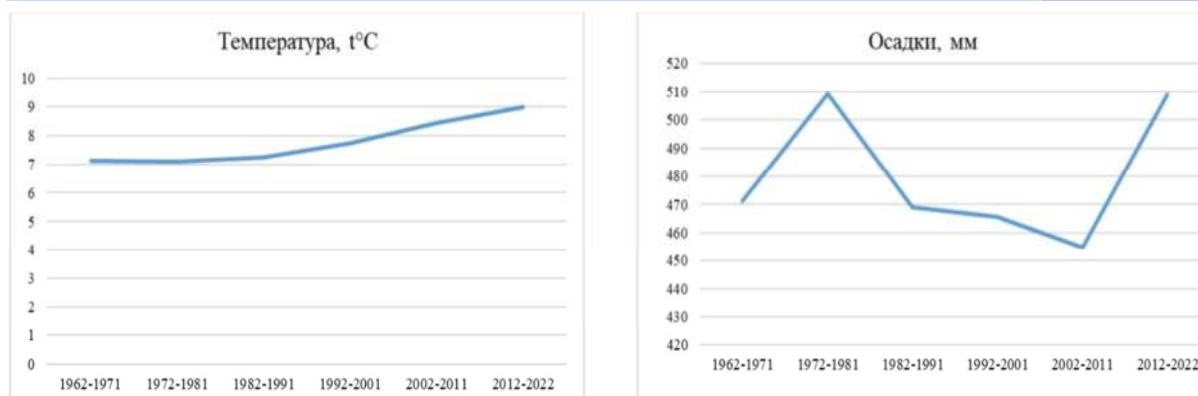


Рисунок 3 – Динамика температуры воздуха (t°C) и выпадения осадков (мм) с 1962 по 2022 гг.
Figure 3 – Dynamics of air temperature (t°C) and precipitation (mm) from 1962 to 2022

С 1962 по 2022 гг. отчетливо прослеживается тренд на повышение среднегодовой температуры на 2°C. При этом в интервал 1962-1981 гг. повышение составило всего 0,25°C. Начало резкого роста наблюдается с 1982-1991гг. и наблюдается по настоящее время. Только за период с 2000 по 2022 гг. среднегодовая температура выросла на 1,5 °С, когда с начала рассматриваемого временного интервала по 2001 г. т.е. за 40 лет, она выросла всего на 1°C.

Для осадков характерны циклы. Выделяется период, когда их количество растет, достигает пика (510 мм) и начинает снижаться (1962-1991 гг.). В засушливый период 1992-2011 гг. минимальное значение выпавших осадков составило 465 мм. За последнее рассматриваемое десятилетие рост показателя среднегодового количества осадков составил 510 мм. При этом какой-либо прямой связи между динамикой многолетней средней температуры и количества осадков не наблюдается.

На основе банка данных климатических показателей для оценки и моделирования фитоэкологических условий и прогноза динамики процессов деградации экосистем с 2012 по 2022 гг. составлены диаграмма с повторяемостью ветров от 10 м/с и роза ветров (рисунок 4).

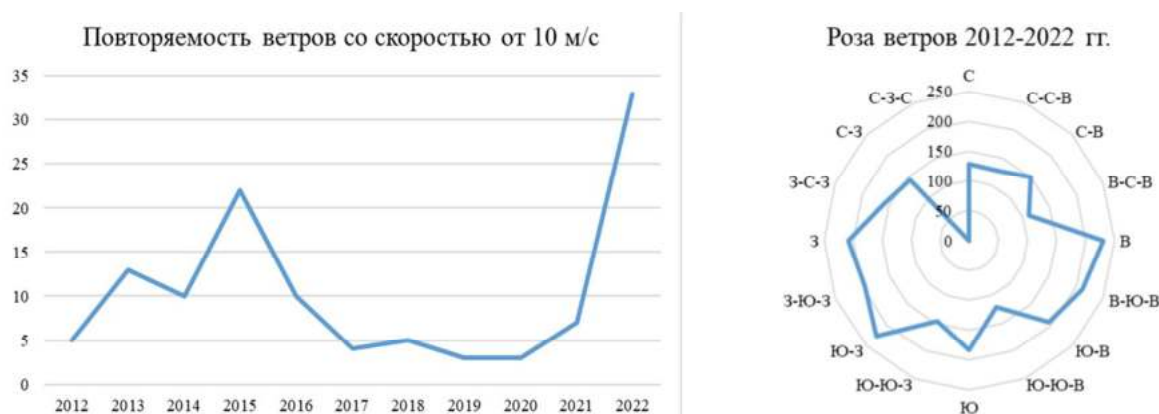


Рисунок 4 – График повторяемости дефляционноопасных ветров и роза ветров на рассматриваемой местности по данным с 2012 по 2022 гг.

Figure 4 – A graph of the recurrence of deflationary dangerous winds and the wind rose in the surveyed area according to data from 2012 to 2022

При изучении местности и разработке пескоукрепительных работ на территории песчаного массива важно учитывать дефляционноопасный ветер, который вызывает песчаные бури. Таковым считается поток воздуха, скорость которого достигает или превышает порог 10 м/с, т.к. при данном значении частицы песка начинают активно переноситься. Из диаграммы видно, что повторяемость от года к году разная. Так, в 2019 и 2020 гг. таких ветров всего по три на год, а в 2022 г. такая скорость была зафиксирована 33 раза. Более

половины опасных ветров наблюдалось на метеостанции ст. Боковская, которая расположена в южной стороне от песчаных земель. Ежегодно дефляционноопасный ветер фиксировался лишь на станции г. Серафимович, которая расположена в 50 км на восток от песков.

Согласно розе ветров преобладает два направления – западное (средняя повторяемость за рассматриваемый период 1079 раз) и восточное (средняя повторяемость за рассматриваемый период 1146 раз). Преобладание западного направления ветра характерно для теплого периода года, а восточного в холодный. Для данной климатической зоны обычное явление то, что в теплый период восточные ветра приносят горячий и сухой континентальный воздух, вызывая повышение температуры и суховеи. Осенью-зимой западные воздушные массы вызывают оттепели, весной-летом понижение температуры воздуха и дожди.

Влияние продуктивности климата на сельское хозяйство и выбор методов применяемых мелиоративных мероприятий оценивается с помощью показателей суммы активных температур, NIA и ГТК (рисунок 5).

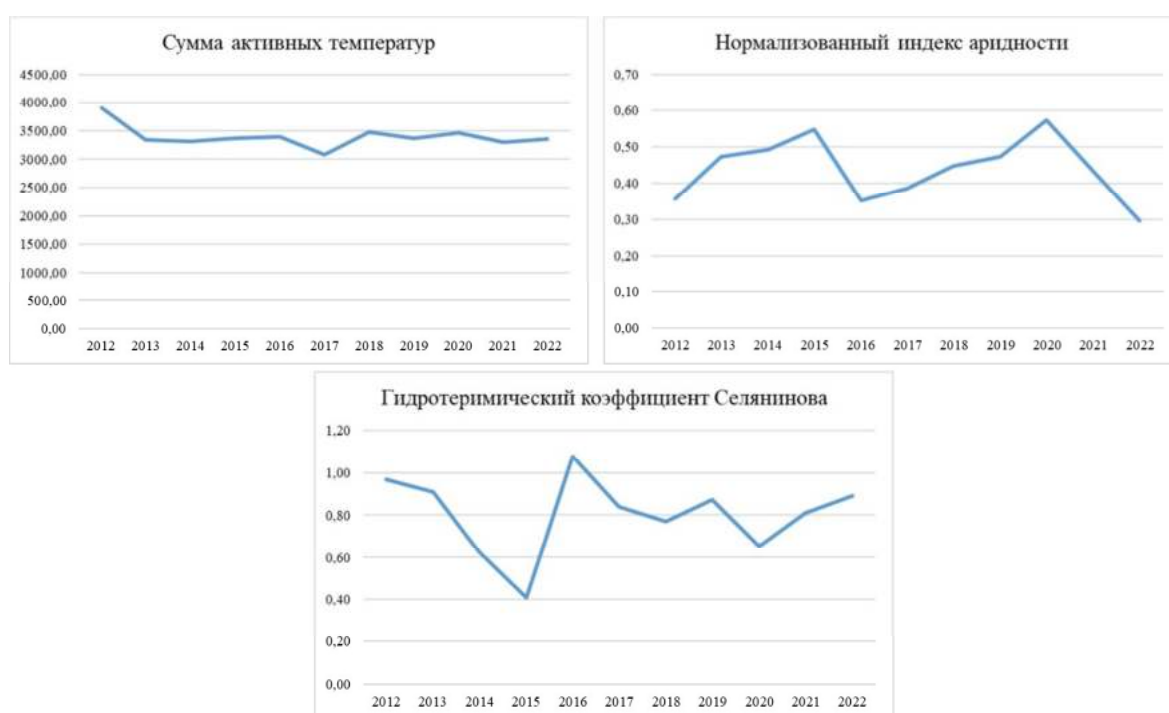


Рисунок 5 – Погодовые средние показатели суммы активных температур NIA и ГТК с 2012 по 2022 гг.
Figure 5 – Weather averages of the sum of active temperatures of NIA and SCC from 2012 to 2022

Сумма активных температур – показатель, характеризующий количество тепла и выражающийся суммой средних суточных температур воздуха, превышающих 10 °C, необходимой для развития конкретного вида растений. В рассматриваемый период данный показатель довольно стабильный (около 3500°C). Так в 2012 г. наблюдался максимум – сумма температур составила 3896, а в 2017 г. – минимум 3080°C. Общий средний многолетний показатель составляет в общей сумме 3396°C. Сама территория песчаного массива, согласно данным интерполяции, попадает в диапазон сумм от 3383 до 3427°C. Данное количество активных температур говорит о том, что местность благоприятна для выращивания солнцелюбивых культур не только с/х назначения, но также плодовых деревьев и виноградников.

Аридность климата (засушливость климата) – характеристика засушливости климатических условий, связанная с недостаточным атмосферным увлажнением и высокими температурами воздуха. При вычислении индекса аридности, чтобы избежать обратной зависимости между ростом аридности и увеличения вычислительного показателя, использовался нормализованный индекс аридности NIA Б. В. Виноградова. По общему среднему показателю 2012-2022 гг. и данных составленной картосхемы с помощью интерполяции, Казанско-Вешенский песчаный массив относится к слабоаридной территории (се-

миаридный климат). Если рассматривать в годовой динамике, то минимальное значение зафиксировано в 2022 г. – 0,33, что относилось к территории к периодически аридным землям, максимальное значение показателя составило 0,57 (умеренно аридные территории) в 2020 г.

По среднемноголетнему ГТК территория исследования относится к зоне типичных степей. В 2016 г. коэффициент достиг значения, характерного для лесостепной зоны (1,08), в остальных годах он не выходил за рамки типичных степей и степей на южных черноземах и каштановых почвах. На самом песчаном массиве, по данным интерполяции, средний многолетний ГТК с 2012 по 2022 гг. колеблется в пределах 0,78-0,79.

Заключение. На основе архивов погоды с 1962 по 2022 гг. установлено, что средняя многолетняя температура воздуха на Казанско-Вешенском песчаном массиве в диапазоне 7,56-8,15°C. Среднее многолетнее количество осадков, по данным интерполяции методом кригинга, на объекте исследования составляет 422,84-518,21 мм, т.е. увеличивается в направлении с востока на запад почти на 100 мм.

По информации из базы данных «Климатические показатели для оценки и моделирования фитоэкологических условий и прогноза динамики процессов деградации экосистем с 2012 по 2022 гг.», составлена статистика повторяемости дефляционноопасных ветров (со скоростью более 10 м/с) и построена роза ветров на территорию исследования. За рассматриваемый 10-летний период средняя повторяемость опасных ветров составляет 10 раз в год. Господствующими направлениями воздушных масс являются, в теплое время года, ветра западного, а в холодное – восточного румба.

Продуктивность климата для осуществления хозяйственной деятельности оценивалась на основе суммы активных температур, которые составили 3383-3427°C, по NIA (песчаный массив относится к слабоаридной территории) и ГТК, согласно которому объект относится к зоне типичных степей.

Таким образом, территория Казанско-Вешенского песчаного массива расположена в зоне с однородными агроклиматическими условиями в силу того, что территория мала для того, чтобы наблюдать существенную разницу в показателях. Данные, полученные в результате исследования, можно использовать в дальнейшем для оценки комфортности проживания человека, развития выращивания плодовых культур и виноградников местными жителями и планирования с/х деятельности. Лесорастительные условия на всей территории массива являются однородными, что упрощает дальнейшую разработку фитомелиоративных мероприятий по восстановлению лесных массивов и закреплению песков.

Conclusions. Based on weather archives from 1962 to 2022. It has been established that the average long-term air temperature on the Kazan-Veshensky sand massif is in the range of 7.56-8.15°C. The average long-term precipitation amount, according to interpolation by the kriging method, at the study site is 422.84-518.21 mm, i.e. increases in the direction from east to west by almost 100 mm.

Based on information from the database «Climatic indicators for assessing and modeling phytocological conditions and forecasting the dynamics of ecosystem degradation processes from 2012 to 2022» statistics on the frequency of deflation-hazardous winds (with a speed of more than 10 m/s) were compiled and a wind rose was constructed to the study area. Over the 10-year period under consideration, the average frequency of dangerous winds is 10 times a year. The dominant directions of air masses are, in the warm season, winds from the west, and in the cold, from the east.

Climate productivity for economic activity was assessed based on the sum of active temperatures, which amounted to 3383-3427°C, according to NIA (the sandy massif belongs to a slightly arid territory) and the State Customs Committee, according to which the object belongs to the zone of typical steppes.

Thus, the territory of the Kazan-Veshensky sand massif is located in a zone with homogeneous agroclimatic conditions due to the fact that the territory is small in order to observe a significant difference in indicators. The data obtained as a result of the study can be used in the future to assess the comfort of human living, the development of the cultivation of fruit crops and vineyards by local residents and the planning of agricultural activities. The forest conditions throughout the massif are uniform, which simplifies the further development of phytomeliorative measures for the restoration of forests and the consolidation of sand.

Библиографический список

1. Пугачева А. М. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутиации. Аридные экосистемы. 2020. № 3 (84). С. 14-22.
2. Бекмурзаева Л. Р., Заурбеков Ш. Ш., Братков В. В. Изменчивость агроклиматических условий Чеченской Республики в условиях меняющегося климата. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2020. № 3. С. 81-87.

3. Zivanovich S. Determing The fire season be analyzing climatic conditions in Northeastern Serbia. Sumarski list. 2023. №9-10. Pp. 477-484.
4. Becker R., Boateng E., Gui P., et al. The impacts of conditions on cereal production: implications for food security in Africa. Environment, Development and Sustainability. 2023. No 2. P. 29.
5. Szyga-Pluta K. Assessment of Changing Agroclimatic Conditions in Poland Based on Selected Indicators. Atmosphere. 2022. V. 13. Pp. 1-15.
6. Gong L., Liao Y., Han Z., et al. The effects of Global Warming on Agroclimatic Regions in China: Past and Future. Agronomy. 2024. V. 14. Pp. 1-16.
7. Trinka. M., Balek. J., Semenov. D., et al. Future agroclimatic conditions and implications for European grasslands. Biologia plantarum. 2020. No 64. Pp. 865-880.
8. Буряк Ж. А., Терехин Э. А. Геоинформационное моделирование пространственно-временной изменчивости агроклиматических условий. Региональные геосистемы. 2020. № 3. С. 333-342.
9. Губарев Д. И., Левицкая Н. Г., Деревягин С. С. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья Аридные экосистемы. 2022. № 1 (90). С. 20-27.
10. Шумова Н. А. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия. Аридные экосистемы. 2021. № 4 (89). С. 13-24.
11. Дронова Е. А., Яловенко О. В. Оценка агроклиматических условий возникновения опасных агрометеорологических явлений теплого периода на территории Нижнего Поволжья. Астраханский вестник экологического образования. 2022. № 2 (68). С. 30-36.
12. Zambon. L., Ferrara. A., Salvia R., et al. Rural Districts between Urbanization and Land Abandonment: Undermining Long-Term Changes in Mediterranean Landscapes. Sustainability. 2018. No 10. P. 1159.

References

1. Pugacheva A. M. Climatic fluctuations of dry steppes and their role in the process of demutation. Arid ecosystems. 2020. No 3 (84). Pp. 14-22.
2. Bekmurzaeva L. R., Zaurbekov Sh. Sh., Bratkov V. V. Variability of agroclimatic conditions of the Chechen Republic in a changing climate. News of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences. 2020. No 3. Pp. 81-87.
3. Zivanovich S. Determing The fire season be analyzing climatic conditions in Northeastern Serbia. Sumarski list. 2023. NN 9-10. Pp. 477-484.
4. Becker R., Boateng E., Gui P., et al. The impacts of conditions on cereal production: implications for food security in Africa. Environment, Development and Sustainability. 2023. V. 2. P. 29.
5. Szyga-Pluta K. Assessment of Changing Agroclimatic Conditions in Poland Based on Selected Indicators. Atmosphere. 2022. No 13. Pp. 1-15.
6. Gong L., Liao Y., Han Z., et al. The effects of Global Warming on Agroclimatic Regions in China: Past and Future. Agronomy. 2024. V. 14. Pp. 1-16.
7. Trinka M., Balek J., Semenov D., et al. Future agroclimatic conditions and implications for European grasslands. Biologia plantarum. 2020. V. 64. Pp. 865-880.
8. Buryak Zh. A., Terekhin E. A. Geoinformation modeling of spatiotemporal variability of agroclimatic conditions. Regional geosystems. 2020. V. 3. Pp. 333-342.
9. Gubarev D. I., Levitskaya N. G., Derevyagin S. S. Impact of climate change on soil degradation in arid zones of the Volga region Arid ecosystems. 2022. No 1 (90). Pp. 20-27.
10. Shumova N. A. Quantitative climate indicators as applied to the assessment of hydrothermal conditions in the Republic of Kalmykia. Arid ecosystems. 2021. No 4 (89). Pp. 13-24.
11. Dronova E. A., Yalovenko O. V. Assessment of agroclimatic conditions for the occurrence of dangerous agrometeorological phenomena of the warm period in the Lower Volga region. Astrakhan Bulletin of Environmental Education. 2022. No 2 (68). Pp. 30-36.
12. Zambon L., Ferrara A., Salvia R., et al. Rural Districts between Urbanization and Land Abandonment: Undermining Long-Term Changes in Mediterranean Landscapes. Sustainability. 2018. No 10. Pp. 1159.

Информация об авторах

Арчаков Денис Игоревич, младший научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0002-7566-443X, e-mail: archakov-di@vfanc.ru

Турчин Тарас Ярославович, директор филиала Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Южно-европейская научно-исследовательская лесная опытная станция» (Российская Федерация, 346270, Ростовская область, Шолоховский район, ст. Вешенская), ORCID: 0000-0002-8789-9957, e-mail: donnilos@mail.ru

Кулакова Екатерина Сергеевна, заведующий кафедрой Экологические технологии природопользования Лесохозяйственного факультета Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346400, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), ORCID: 0000-0001-6778-1401, e-mail: kes_9@mail.ru

Author's Information

Archakov Denis Igorevich, junior researcher at the laboratory of hydrology of agroforestry landscapes of the Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0002-7566-443X, e-mail: archakov-di@vfanc.ru

Turchin Taras Yaroslavovich, Director of the Branch of the All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization «Southern European Research Forestry Experimental Station» (Russian Federation, 346270, Rostov region, Sholokhovsky district, Veshenskaya station), ORCID: 0000-0002-8789-9957, e-mail: donnilos@mail.ru

Kulakova Ekaterina Sergeevna, Head of the Department of Environmental Technologies of Nature Management, Faculty of Forestry, Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – the branch of the federal state budgetary educational institution of higher education «Don State Agrarian University» (Russian Federation, 346400, Novocherkassk, Pushkinskaya str., 111), ORCID: 0000-0001-6778-1401, e-mail: kes_9@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-19

THE CONCEPT OF A DIGITAL TWIN OF IRRIGATED AGROCECENOSIS**Borovoy S. E., Komarova O. P., Kozenko K. Y.***All-Russia Institute of Irrigated Agriculture
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: komarova62@rambler.ru

Received 11.10.2023

Submitted 25.04.2024

Summary

Paper analyzes state-of-the-art publications in the field of agricultural application of digital twins and presents an author's concept of developing a digital twin of an agricultural landscape in the field of precision irrigation with a description of its system architecture based on cyber-physical data integration, which allows parametric modeling of water, soil and vegetation agroecosystem parameters in order to work out what-if scenarios in a digital environment.

Abstract

Introduction. An implementation of precision farming technologies, with other equal yield-forming factors, allows to increasing a yield of agroecosystem up to 15-20%. The introduction of precision irrigation makes it possible to qualitatively increase the efficiency of using of water resources. Implementation of digital twins opens up significant opportunities in reducing the parametric uncertainty of agroecosystem states and their real-time monitoring, as well as high-precision modeling of various simulation scenarios. **Object.** The object of this study are digital twins as systems for monitoring and parametric modeling of production processes in their application to the agricultural sector. **Materials and methods.** Methods of this study are general systems theory, the theory of constraints, technology maturity assessment according to foreign and Russian industry standards, also the monographic method were used. **Results and conclusions.** The concept of an object-oriented data model is proposed that integrates data of various physical nature and automates parametric modeling of agroecosystem, which will qualitatively reduce the uncertainty in the economic parameters of agroecosystem in a discrete spatial and temporal dimension, as well as labor costs for calculations, as well as form a primary calculating system and methodological basis to integrate precision irrigation, precision farming and crop programming with further use of the research results in cyber-physical systems, including an implementation of artificial intelligence.

Keywords: precision agriculture, precision irrigation, digital twins in agriculture, cyberphysical systems in agriculture.

Citation. Borovoy S. E., Komarova O. P., Kozenko K. Y. The concept of a digital twin of irrigated agroecosystem. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 165-174 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-19.

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 631.6

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ОРОШАЕМОГО АГРОЦЕНОЗА**Боровой С. Е., младший научный сотрудник****Комарова О. П., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник****Козенко К. Ю., кандидат экономических наук, старший научный сотрудник***Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Внедрение технологий прецизионного земледелия, при прочих равных урожайобразующих факторах, позволяет увеличить урожайность агроценоза до 15-20%. Внедрение прецизионного орошения позволяет качественно увеличить эффективность использования водных ресурсов. Использование цифровых двойников открывает значительные возможности в сокращении параметрической неопределенности состояний агроценоза и их мониторинга в реальном времени, а также высокоточное моделирование различных имитационных сценариев. **Объект.** Объектом исследования являются цифровые двойники как системы мониторинга и параметрического моделирования производственных процессов в их применении к сельскохозяйственной сфере. **Материалы и методы.** Применялись методы общей теории систем, теории ограничений, оценки зрелости техноло-

гий по зарубежным и российским отраслевым стандартам, а также монографический метод. **Результаты и выводы.** Предложена концепция объектно-ориентированной модели данных, интегрирующей данные различной физической природы и автоматизирующей параметральное моделирование агробиоценоза, что позволит качественно сократить неопределенность в экономических параметрах агроценоза в дискретном пространственном и временном измерении, а также трудозатраты для проведения расчетов. А также позволит сформировать первичный расчетный и методологический базис для интеграции прецизионного орошения, прецизионного земледелия и программирования урожая с дальнейшим использованием результатов исследования в киберфизических системах, в том числе с применением искусственного интеллекта.

Ключевые слова: прецизионное земледелие, прецизионное орошение, цифровые двойники в сельском хозяйстве, киберфизические системы в сельском хозяйстве.

Цитирование. Боровой С. Е., Комарова О. П., Козенко К. Ю. Концепция цифрового двойника орошаемого агроценоза. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 165-174. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-19.

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. Формирование современного цифрового сельского хозяйства можно охарактеризовать как процессы диффузии и адаптации в сельскохозяйственной отрасли программно-аппаратных решений, реализующихся и реализованных в рамках концепций «Индустрии 4.0».

Факторами цифровой модернизации сельского хозяйства является необходимость оптимизации эффективности производственных технологий при одновременной необходимости снижения налагаемого на окружающую среду антропогенного бремени, в частности сокращения пестицидной нагрузки, предотвращения физической и биологической деградации почв, в том числе за счет оптимизации использования оросительной воды. Особо важным фактором является и необходимость повышения рентабельности сельскохозяйственного производства, в том числе за счет развития экспорта продукции, что едва ли представляется возможным без широкого внедрения цифровых, прецизионных технологий в земледелии и орошения как базиса их устойчивого развития. Проблематика цифровизации, как на уровне сельскохозяйственных производственных процессов в целом, так и в разработке цифровых двойников агроценоза в частности, является новым и достаточно слабо исследованным направлением и в мировой науке [2, 17, 19], в российских же работах эта тема пока что представлена еще более фрагментарно [21-24], что придает актуальность исследованиям данной темы даже на первоначальном, концептуально-теоретическом уровне.

Материалы и методы. В работе были использованы методы общей теории систем, теории ограничений, оценки зрелости технологий по зарубежным и российским отраслевым стандартам, а также монографический метод.

Результаты и обсуждение. Среди макроэкономических процессов, формирующих институциональные и производственно-технологические группы факторов внешней среды российского АПК в целом и орошаемого земледелия в частности, необходимо выделить три главных детерминанты: 1. Процессы международно-политической турбулентности, реализация страновых и логистических рисков на внешних рынках продовольствия, что преобразует объемы и устойчивости поставок продовольствия из чисто экономических отношений в стратегический инструмент внешней политики РФ. 2. Климатические процессы, которые, безотносительно реальной степени их антропогенности, оказывают существенное негативное влияние на устойчивость земледелия в целом, что качественно повышает значимость развития оросительных мелиораций как в экстенсивном, так и в интенсивном отношении. На уровне же регионального аспекта развития агроэкономики особым значением обладает проблематика достаточности водных ресурсов. С одной стороны, это ставит задачи повышения эффективности их использования, прежде всего за счет капельного и внутрипочвенного орошения, с другой стороны, наличествует необходимость освоения обширных водных ресурсов Волго-Донского междуречья и Нижнего Поволжья в целом, что позволит эффективно дополнить орошаемые агроценозы Краснодарского края, возможности дальнейшего развития которых ограничены нехваткой свободных оросительных вод в Кубани, Тереке, Сосыке и других реках Кубанского бассейнового округа. 3. Технологические процессы интенсификации сельскохозяйственного производства и необходимость его диверсификации: нарушение баланса между растениеводством и животноводством не в

пользу последнего, с одной стороны, а в самом растениеводстве – преобладание озимой пшеницы образует весьма далекую от оптимума системную архитектуру сельского хозяйства, ограничивающую как устойчивость производства за счет погодных факторов, так и его экономические показатели. Пшеница в сравнении с другими культурами обладает наименьшей погектарной выручкой и показателями добавленной стоимости, обеспечивая прибыль не более 300-400 USD с 1 га пашни, в то время как, например, соя и кормовые травы обладают наивысшей рентабельностью и потенциалом технологической интенсификации производства. Системная же интеграция кормопроизводства в орошаемых агроценозах и животноводства позволяет извлекать с 1 га 3 и более тыс. USD прибыли, что позволяет придать качественный импульс и развитию сельских территорий, обеспечив купирование сдерживающих развитие РФ пространственно-территориальных и социально-экономических диспропорций.

Комплексным и системным ответом на вызовы, сформированные этими тремя детерминантами, является адаптация орошаемого земледелия к комплексу прецизионных цифровых программно-аппаратных решений, связанных с т.н. «Индустрией 4.0.», находящей свое применение в сельском хозяйстве в следующих направлениях, которым присущ взаимоопорный характер:

1. Прецизионное земледелие, основными формами которого являются средства прецизионной навигации для сельскохозяйственной техники, обеспечивающей физический оптимум однородности посевов, и прецизионному внесению удобрений, обеспечивающему химический оптимум потребности растений в NPK.

2. Прецизионное орошение, обеспечивающее растениям водный оптимум, а сельхозтоваропроизводителям – экономический оптимум рентабельности.

3. Дистанционное зондирование агроландшафтов, обеспечивающее оптимум сокращения трудозатрат на отбор проб и образцов и их лабораторное исследование конвенциональными методами, а также, что не менее важно, обеспечивающее качественное сокращение неопределенности в риал-тайм мониторинге происходящих в агроценозе физических, химических и биологических процессов, что позволяет, при прочих равных, обеспечить повышение урожайности на 15-25% посредством высокоточного и ресурсосберегающего купирования факторов водного и трофического стресса растений.

Средствами реализации дистанционного зондирования агроландшафтов являются высокоточные средства фотограмметрии, осуществляемой преимущественно с применением БПЛА-платформ, что позволяет осуществить репрезентацию агрофитоценоза в виде массива воксельных данных (присваивающих каждому пикселю аэрофотосъемки с разрешением ~1 см трехмерные координаты) и мультиспектральных/гиперспектральных данных (отображающих вегетационные индексы растительности, спектральному диапазону которых присущи устойчивые корреляции с различными факторами стресса растений). Не менее важным и перспективным аспектом дистанционного зондирования, системно дополняющим аэрофотосъемку, является автоматизация трудоемких наземных измерений NPK, объемной влажности, матричного потенциала почвы, осуществляемая посредством беспроводных датчиков, интегрированных в киберфизическую систему через т.н. «интернет вещей» (Internet of Things, IoT) с использованием LPWAN/LoRaWAN протоколов. В аспекте программно-аппаратных решений сочетание данных методов позволяет полноценно реализовать концепцию «электронного агронома», сформулированную в 1955 г. академиком АН СССР А.Ф. Иоффе, через современные программно-аппаратные средства осуществив репрезентацию агрофитоценоза как системы квазиоднородных участков произвольного (детерминированного задачами и возможностями системы) размера. Данные участки, в свою очередь, в аспекте модели данных представляют собой привязанные к GPS-координатам дата-кубы, обладающие определенным комплексом параметров, интегрирующим данные различной физической природы, поступающие через инструменты дистанционного зондирования и, опционально, интерпретируемые с помощью алгоритмов искусственного интеллекта, формирующих интеллектуальную информационную систему (в качестве альтернативных названий которой также употребляются «информационно-советующая система» или же «система поддержки принятия решений»). Безотносительно терминологических альтернатив, задачами такого рода систем является обеспечение в ядре системы максимального сокращения параметрической неопределенности протекающих в агроценозе процессов, а в периферии системы – обеспечение эффективных интерфейсов ввода и репрезентации данных параметров, что позволяет принимать наиболее эффективные агрономические решения и также сокращает затраты квалифицированного труда на сбор данных для их принятия.

В аспекте же общетеоретического аппарата, описывающего цифровые решения, связанные с индустрией 4.0, такую систему можно охарактеризовать и как цифровой двойник агроценоза.

Концепция цифрового двойника как программной среды киберфизического моделирования какого-либо изделия или производственного процесса в комплексе факторов была впервые введена в научный оборот М. Гривзом и Дж. Викерсом в 2014 году [5]. Единое и стандартизированное понятие цифрового двойника с данного момента еще не выработалось, представляя собой достаточно нечеткую категорию. Тем не менее, в англоязычной научной литературе она всегда связана с квалифицирующими признаками динамической цифровой репрезентации физического объекта или системы, позволяющей осуществлять численные эксперименты, с достаточной для поставленных задач достоверностью моделирующие те или иные what-if решения [13].

Практическое же внедрение цифровых двойников за эти годы главным образом связано с высокотехнологичной промышленностью: аэрокосмической отраслью, автомобилестроением [10], трехмерной печатью [9].

Тема цифрового двойника является достаточно новой и для промышленной инженерии, позволяя оптимизировать трудовые и ресурсные затраты на НИОКР за счет качественно нового уровня имитационного моделирования в цифровой среде, позволяющей сократить затраты на изготовление различных образцов и прототипов [15].

В аграрной же сфере, которая в силу своей пространственной рассредоточенности и меньшей концентрации капиталов в целом отстает от промышленного сектора во внедрении инноваций, имплементация технологий цифрового двойника находится преимущественно в ранних стадиях жизненного цикла разработки и внедрения [6]. Основные направления данных разработок связаны с искусственным интеллектом и машинным распознаванием образов для прецизионного земледелия [12], использованием больших данных [19] и интернета вещей в сельском хозяйстве [2].

Так, например, в наиболее релевантной по содержанию и актуальной по времени публикации обзорной работе [13] по итогам мультикритериального поиска в системах Web of Knowledge и Google Scholar систематизированы сведения всего о 28 проектах, связанных с использованием цифровых двойников в сельском хозяйстве. При этом заслуживает внимания и предпринятая автором классификация данных проектов, основанная на используемых в ЕС критериях технологической готовности (TRL, Technology Readiness Level) [3]. Данные критерии представляются достаточно релевантными и в наших условиях. Уровень технологической готовности, согласно данному документу, декомпозируется на 3 класса и 9 подклассов, представляющих собой последовательные стадии жизненного цикла исследования и разработки. Классы представлены категориями концепции («concept»), прототипа («prototype»), и внедренной технологии («deployed»). Концепция включает в себя стадии изучения базовых принципов («basic principles observed») и собственно формулировки концепта («technology concept formulated»). Категория прототипа последовательно включает в себя стадии экспериментального подтверждения концепта («experimental proof of concept»), валидацию технологии в лабораторных условиях и в релевантном окружении («technology validated in lab/in relevant environment»). В качестве отдельной стадии выделяется демонстрация технологии в релевантном окружении («technology demonstrated in relevant environment»). Категории внедрения технологии представлены демонстрацией прототипа системы в реальных условиях («system prototype demonstration in operative environment»), завершенной системой удовлетворяющей проектным критериям качества («system complete and qualified»), внедренной системой, действующей в реальных условиях («actual system proven in operational environment»). Российский национальный стандарт ГОСТ Р 58048-2017 «Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий» в п. 5.1. «Оценка готовности технологии» фактически дублирует данные критерии [20].

Среди упомянутых выше 28 проектов насчитывается 10 находящихся на различных стадиях концептуальной проработки и 10 вышедших на уровень рабочего прототипа, 8 проектов уже находятся в стадии внедрения. Среди последних следует выделить португальский проект Open PD, представляющий собой разработку алгоритма идентификации фитопатологий и поражения растений вредителями, основанном на сборе данных через клиентское мобильное приложение, репрезентацией признаков на цифровом двойнике растения и их коллективной экспертной оценке в рамках разработанной платформы.

Чешский проект Farm Telemetry предназначен для оптимизации операционных расходов в земледелии посредством визуализации на клиентском уровне в реальном времени координат и траекторий движения сельскохозяйственной техники, оснащенной средствами телеметрии и прецизионной навигации. Среда цифрового двойника представляет собой реляционную базу исторических данных, позволяющую оценивать и моделировать экономическую эффективность техники, прежде всего в разрезе расхода горюче-смазочных материалов [18].

Другие из этих проектов, достигшие стадии внедрения, преимущественно связаны с мониторингом и моделированием состояния сельскохозяйственных животных или же моделированием фитопатологий в плодовом садоводстве.

Среди проектов прототипного уровня следует выделить описанную в работе [17] систему эмуляции применения беспилотной сельскохозяйственной техники. Средой цифрового двойника в проекте является трехмерная цифровая модель полей, сформированная посредством фотограмметрии, учитывающая рельеф местности и наличие посторонних объектов. База данных с параметрами представленных на рынке моделей существующей беспилотной сельскохозяйственной техники позволяет осуществлять ее имитационное тестирование для поддержки принятия решений о приобретении оптимального для покупателя оборудования.

В разрезе комплексного параметрального моделирования биологической среды представляет интерес проект [16], где описывается система моделирования двухуровневой аквариумной установки замкнутого цикла водоснабжения. Задачами данного цифрового двойника является what-if моделирование комплекса таких параметров, как температура, освещение, кислотно-щелочной баланс, содержание кислорода и солей в водной среде, питания культивируемых гидробионтов и набор ими массы с целью максимизации выхода конечной рыбной и растительной продукции, минимизации загрязнения воды при сохранении соответствия заданным для системы параметрам качества. Источниками данных для реляционной базы являются лабораторные данные и данные цифрового мониторинга водной среды.

Примером успешно реализованного на прототипном уровне алгоритма цифрового мониторинга растений, хотя и в плодовом садоводстве, а не в более близком нашим задачам сфере полевого земледелия, является работа [8], где представлена разработка системы цифровых двойников для каждого отдельного дерева, данные для которой поставляются вращающимися 3D-камерами, осуществляющими мониторинг состояния деревьев в разрезе их здоровья, морфологических и фенологических признаков, а также качества фруктов. В системе существует блок искусственного интеллекта на основе нейросетевых алгоритмов, который, в сочетании с экспертными оценками, позволяет осуществлять прогнозирование температурных, водных и трофических стрессов у деревьев, а также оценку потерь урожая.

Немаловажный для поддержки принятия управленческих и агрономических решений в агроценозах вопрос логистики рассмотрен в работе [7], где средой цифрового двойника является система внутрихозяйственных грузоперевозок, моделирующая существующие и проектируемые дорожные пути, что позволяет выявить наиболее оптимальные паттерны грузоперевозок и расширения дорожной сети посредством имитационных сценариев. При этом система позволяет выстраивать когнитивные модели на репрезентационном языке UML, что оптимизирует дальнейшие управленческие мероприятия по реализации принятых решений.

На концептуальном уровне также существует ряд проектов, частично или полностью релевантных к проблематике разработки цифрового двойника агроценоза. Так, в работе [11] описывается концепция цифрового двойника, интегрирующего данные от сельскохозяйственной техники, поступающие в рамках протокола обмена данными ISOBUS, лабораторных данных, экспертного анализа и подсистемы поддержки принятия решений. Концепция цифрового двойника, представленная в работе [4], основана на интеграции метеоданных, почвенных анализов и данных дистанционного зондирования, которые используются цифровым двойником для построения теплокарт и визуальных моделей, которые используются для поддержки принятия агрономических решений и автоматизированного управления системой посредством программируемых контроллеров.

В аспекте макромасштабного мониторинга агроландшафтов представляет интерес концепция разработки цифрового двойника, интегрирующего данные дистанционного зондирования земли в масштабах больших данных на основе платформы WebGIS, источником

которых являются спутниковая съемка, аэрофотосъемка, наземные сенсоры дистанционного зондирования, что имеет своей задачей поддержку принятия решений в сфере выработки государственной экономической и экологической политики в сфере сельского хозяйства, реализацию аграрных макропроектов в национальных и региональных масштабах [1].

Таким образом, общее отставание сельского хозяйства от промышленности в процессах цифровизации производства, в том числе и в частном аспекте разработки и внедрения цифровых двойников, усугубляется и почти полным, за исключением отдельных концепций, отсутствием такого рода разработок в орошаемом земледелии, что создает значительные возможности в развитии прецизионного орошения с учетом природных особенностей Волго-Донского междуречья и предопределяемой природными, институциональными и экономическими факторами необходимостью оптимизации расхода оросительной воды с одной стороны и повышения эффективности купирования водного стресса растений с другой стороны.

Однако высокая стоимость прецизионных программно-аппаратных решений в земледелии придает особую значимость инструментарию их экономической оценки, степень автоматизации которого также должна соответствовать концептуальным стандартам Индустрии 4.0. и институциональным стандартам ведомственного подпроекта МСХ РФ «Цифровое сельское хозяйство», а именно обладать достаточной для машиночитаемости степенью формализации, позволяющей подавать на входы интеллектуальной информационной системы в том числе и комплекс экономических параметров (рисунок 1).

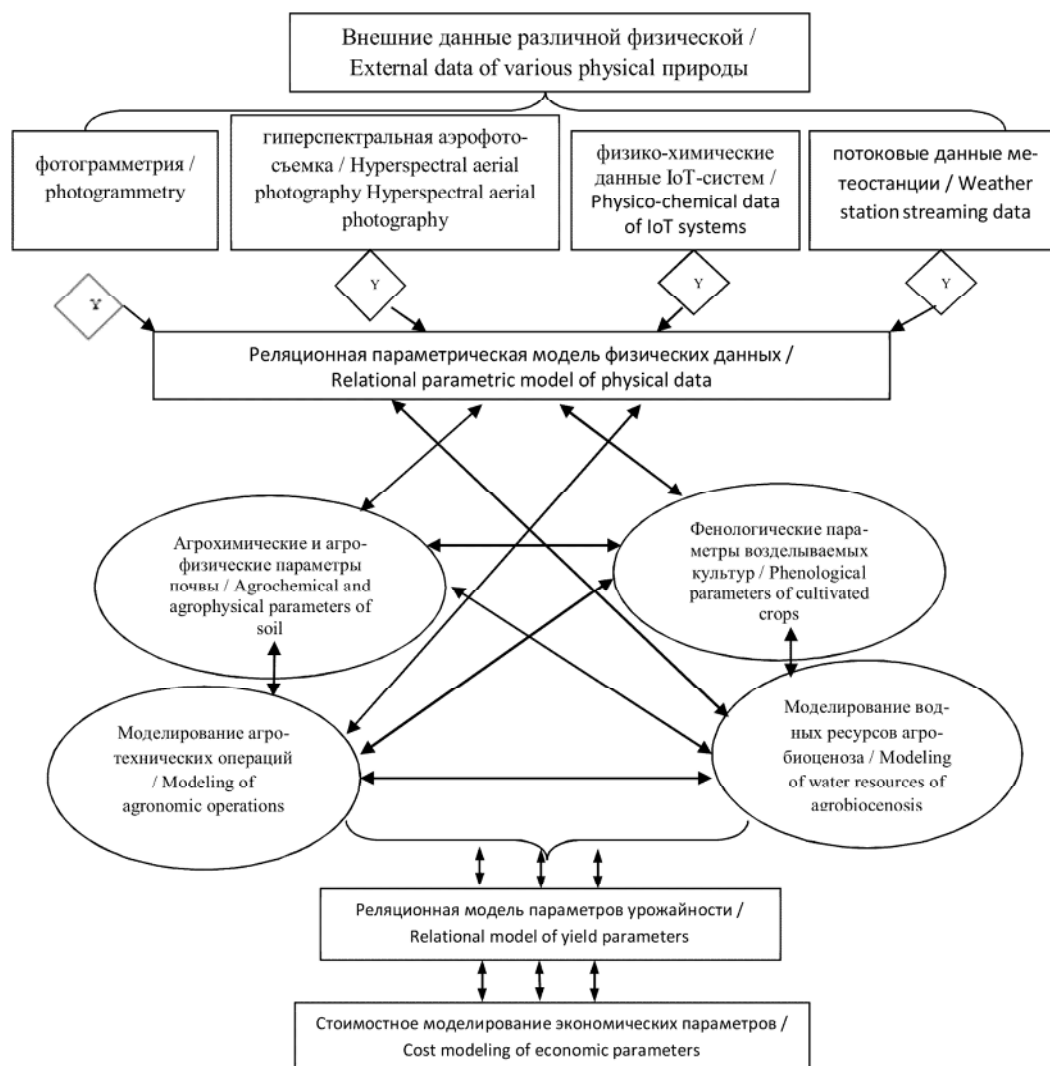


Рисунок 1 – Общая когнитивная модель цифрового двойника агроценоза
Figure 1 – General cognitive model of the digital twin of agrobiocenosis

Ядром программной архитектуры такой системы является кластер динамических объектно-ориентированных моделей, с достаточной степенью детализации отображающих параметры:

- 1) агротехнических операций;
- 2) физико-химических свойств почвы;
- 3) формализованных фенологических параметров растений;
- 4) гидроинженерным комплексом параметров оросительной системы и эвапотранспирационным комплексом параметров агроценоза.

Входные потоки данных будут сформированы:

- 1) фотопозиционированием;
- 2) мультиспектральными/гиперспектральными данными аэрофотосъемки;
- 3) физико-химическими данными наземных систем дистанционного зондирования;
- 4) метеоданными интегрированной в программно-аппаратный комплекс метеостанции.

Внешней же сферой программной архитектуры будет являться динамическая модель финансовых данных, описывающая комплекс стоимостных параметров, представленных переменными, функциями и отношениями между ними. Экономический параметральный комплекс периферии, взаимодействуя с кластером моделей в ядре системы, позволит осуществить автоматизацию экономических расчетов, создав динамически моделируемые и машиночитаемые технологические карты возделываемой культуры с высокоточной привязкой к параметрам конкретного агроценоза.

Наличие цифрового двойника с такой архитектурой позволит осуществлять постановку многообразных и многофакторных численных экспериментов, в том числе сценарное прогнозирование и стресс-тестирование бизнес-проектов в сфере земледелия, в том числе связанных с оросительной мелиорацией, а также экономическую оценку технических решений в орошении агробиоценоза, агротехнологических операций и севооборотов. Это, в свою очередь, обеспечит стейкхолдерам системы оптимум интенсификации производства с высокоточной репрезентацией баланса между потребностями растений в физиологически оптимальных условиях развития и потребностями аграриев в экономически оптимальной себестоимости продукции.

Таким образом, цифровой двойник решающий данные задачи должен представлять собой кластера объектно-ориентированных моделей агроценоза, объединенных реляционной структурой данных, интегрирующей экономические и физические параметры.

Его системная архитектура декомпозируется на следующие блоки:

1. Разработка алгоритмического ядра автоматизированной системы вычислений, формализующего физические процессы в агроценозе, что включает в себя:

1.1. декомпозицию агротехнических операций, в отличие от конвенциональных технологических карт представляющую собой не комплекс статичных объектов, отображающих предустановленные данные об операции в целом, а систему динамических переменных, интегрирующих параметры сопротивления почвы для конкретного агроценоза, паспортного и фактического (с поправкой на износ поршневой группы и т.п. факторы) расхода ГСМ наличествующей в хозяйстве (а не моделируемой *in abstractio*) сельскохозяйственной техники, ширины захвата агрегата и других параметров

1.2. репрезентацию физических и химических свойств почвы, что прежде всего включает в себя автоматизацию расчетов заданного агрохимического фона, а также ввода данных о водно-воздушном режиме почвы, ее гранулометрическом составе, кислотно-щелочном балансе, влажности, состоянии гумусовых горизонтов А-АВ.

1.3. репрезентацию свойств растений, что включает в себя комплекс параметров характеристик культуры и сорта, а также данные о погодных условиях, в том числе фотосинтетической активной радиации, потенциальном урожае и действительно возможном урожае.

1.4. гидромелиоративные параметры моделируемого агробиоценоза, что включает в себя данные о водных режимах, гидроинженерных параметрах системы, показателях эвапотранспирации.

2. Разработка реляционной модели экономических данных, во взаимодействии с блоками 1.1.-1.4. обрабатывающей заданные стоимостные параметры эксплуатации орошаемого агроценоза, что позволит выявить оптимальный и увязанный с экономическими возможностями уровень интенсификации производства. Объектами данной модели являются стоимость семян, горюче-смазочных материалов, удобрений, гербицидов, фонд оплаты труда.

Заключение. Вышеизложенное позволит осуществить разработку и валидацию объектно-ориентированной модели данных, интегрирующей данные различной физической природы и автоматизирующей параметральное моделирование агробиоценоза, что позволит качественно сократить неопределенность в экономических параметрах агроценоза в дискретном пространственном и временном измерении, а также трудозатраты для проведения расчетов, а также сформировать первичный расчетный и методологический базис для интеграции прецизионного орошения, прецизионного земледелия и программирования урожаев с дальнейшим использованием результатов исследования в киберфизических системах, в том числе с применением искусственного интеллекта. Данный базис может быть создан посредством разработки объектно-ориентированного кластера моделей и реляционной базы данных в формате псевдокода (частичной формализации) в среде MS Excel, первоначально тестируемой а имитационных и эмпирических данных с ручным вводом параметров. В качестве объектных культур для моделируемых орошаемых агробиоценозов наиболее релевантны соя, кукуруза, многолетние травы, нут. Затем представляется возможной полная формализация псевдокода с его преобразованием в машиночитаемый формат. Предполагается валидация гипотезы о возможности преобразования объектов в MS Excel в машиночитаемые формы через базу данных в формате .csv для дальнейшего оперирования с машиночитаемыми объектами в языке Python, а также и валидация гипотезы о реализуемости ввода данных для произвольного множества дата-кубов, что и представляется главной задачей полной формализации, которая, в свою очередь, обеспечит интеграцию кластера моделей со входами данных, поставляемыми прецизионной киберфизической системой.

Conclusions. The foregoing will make it possible to develop and validate an object-oriented data model that integrates data of various physical nature and automates the parametric modeling of agrobiocenosis, which will qualitatively reduce the uncertainty in the economic parameters of agroecosis in a discrete spatial and temporal dimension, as well as labor costs for calculations, as well as form a primary calculation and methodological basis for the integration of precision irrigation, precision farming and crop programming with further use of the research results in cyber-physical systems, including the use of artificial intelligence. This basis can be created by developing an object-oriented cluster of models and a relational database in the pseudocode format (partial formalization) in the MS environment Excel initially tested on simulation and empirical data with manual input of parameters. Soybeans, corn, perennial grasses, and chickpeas are the most relevant as object crops for the simulated irrigated agrobiocenoses. Then it is possible to completely formalize the pseudocode into a machine-readable format. It is supposed to validate the hypothesis about the possibility of converting objects into MS Excel to machine-readable forms via a database in .csv file for further operation with machine-readable objects in the Python language, as well as validation for the hypothesis about the feasibility of data input for an arbitrary set of data cubes, which seems to be the main task of complete formalization, which, in turn, will ensure the integration of a cluster of models with data inputs supplied by precision cyber-physical system.

Библиографический список

1. Delgado J. A., Short N. M., Roberts D. P., Vandenberg B. Big Data Analysis for Sustainable Agriculture on a Geospatial Cloud Framework. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2019. N. 3. P. 54.
2. Elijah O., Rahman T. A., Orikumhi I., Leow C. Y., Hindia M. H. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*. 2018. N. 5 (5). Pp. 3758-3773.
3. European Commission. Technology readiness levels (TRL). Extract from Part 19 – Commission Decision C (2014) 4995. Technical report. 2014. https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/ annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf
4. Gomes Alves R., Souza G., Maia R., Lan Ho Tran A., Kamienski C., Soininen J.-P., Thomaz Aquino-Jr. P., Lima F. A digital twin for smart farming. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*. Seattle, 2019.
5. Grieves M., Vickers J. 2017. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*. Springer International Publishing. Cham, 2017. Pp. 85–113.
6. Janssen S. J., Porter C. H., Moore A. D., Athanasiadis I. N., Foster I., Jones J. W., Antle J. M. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agricultural Systems*. 2017. N. 155. Pp. 200-212.
7. Machl T., Donaubaue A., Kolbe T. H. Planning Agricultural Core Road Networks Based on a Digital Twin of the Cultivated Landscape. *Full Paper Journal of Digital Landscape Architecture*. 2019. P. 316–327.
8. Moghadam P., Lowe T., Edwards E. J. Digital Twin for the Future of Orchard Production Systems. *Proceedings*. 2020. V. 36 (1). N. 92.
9. Mukherjee T., DebRoy T. A digital twin for rapid qualification of 3D printed metallic components. *Application of Materials Today*. 2019. V. 14. P. 59–65.

10. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. *Procedia Manufacturing*. 2017. N 11. P. 939-948.
11. Paraforos D. S., Sharipov G. M., Griepentrog H. W. ISO 11783-compatible industrial sensor and control systems and related research: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. N. 163. P. 104863.
12. Patricio D. I., Rieder R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. N 153. Pp. 69-81.
13. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis I. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. V. 184. P. 105942.
14. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis I. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. V. 184. 105942.
15. Qi Q., Tao F. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*. 2018. V. 6. Pp. 3585–3593.
16. Tan G., Lehmann A., Teo Y. M., Cai W. Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems. *Communications in Computer and Information Science*. 2019. V. 1094.
17. Tsolakis N., Bechtsis D., Bochtis D. Agros: A robot operating system based emulation tool for agricultural robotics. *Agronomy*. 2019 V. 9. N. 7.
18. Verdouw C., Kruijze J. W. Digital twins in farm management: illustrations from the FIWARE accelerators SmartAgriFood and Fractals. 7th Asian-Australasian Conference on Precision Agriculture. 2017.
19. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming - A review. *Agricultural Systems*. 2017. N 153. Pp. 69-80.
20. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий: ГОСТ Р 58058-2017. М.: Стандартинформ, 2018. 41 с.
21. Брыль С. В., Зверьков М. С. Создание цифровой модели рельефа мелиоративного объекта по данным дистанционного зондирования земли. *Системные технологии*. 2021. № 4 (41). С. 37-42.
22. Демичев В. В. Стратегия цифровизации ЕС до 2030 года: полезный опыт для сельского хозяйства России. *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2021. Т. 4. № 12 (120). С. 98-104.
23. Романцева Ю. Н., Демичев В. В. Мировые тенденции и подходы к цифровизации АПК. *Дружковский вестник*. 2021. № 5 (43). С. 168-181.
24. Тимиргалеева Р. Р., Вердыш М. В. Формирование модели цифровой среды системы управления агропромышленного комплекса. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2022. № 5. С. 54-58.

References

1. Delgado J. A., Short N. M., Roberts D. P., Vandenberg B. Big Data Analysis for Sustainable Agriculture on a Geospatial Cloud Framework. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2019. N. 3. P. 54.
2. Elijah O., Rahman T. A., Orikumhi I., Leow C. Y., Hindia M. H. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*. 2018. N. 5 (5). Pp. 3758-3773.
3. European Commission. Technology readiness levels (TRL). Extract from Part 19 - Commission Decision C (2014) 4995. Technical report. 2014. https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/ annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf
4. Gomes Alves R., Souza G., Maia R., Lan Ho Tran A., Kamienski C., Soininen J.-P., Thomaz Aquino-Jr. P., Lima F. A digital twin for smart farming. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*. Seattle, 2019.
5. Grieves M., Vickers J. 2017. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*. Springer International Publishing. Cham, 2017. Pp. 85–113.
6. Janssen S. J., Porter C. H., Moore A. D., Athanasiadis I. N., Foster I., Jones J. W., Antle J. M. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agricultural Systems*. 2017. N. 155. Pp. 200-212.
7. Machl T., Donaubaue A., Kolbe T. H. Planning Agricultural Core Road Networks Based on a Digital Twin of the Cultivated Landscape. *Full Paper Journal of Digital Landscape Architecture*. 2019. P. 316–327.
8. Moghadam P., Lowe T., Edwards E. J. Digital Twin for the Future of Orchard Production Systems. *Proceedings*. 2020. V. 36 (1). N. 92.
9. Mukherjee T., DebRoy T. A digital twin for rapid qualification of 3D printed metallic components. *Application of Materials Today*. 2019. V. 14. P. 59–65.
10. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. *Procedia Manufacturing*. 2017. N 11. P. 939-948.
11. Paraforos D. S., Sharipov G. M., Griepentrog H. W. ISO 11783-compatible industrial sensor and control systems and related research: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. N. 163. P. 104863.
12. Patricio D. I., Rieder R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. N 153. Pp. 69-81.
13. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis I. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. V. 184. P. 105942.
14. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis I. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. V. 184. 105942.
15. Qi Q., Tao F. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*. 2018. V. 6. Pp. 3585–3593.
16. Tan G., Lehmann A., Teo Y. M., Cai W. Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems. *Communications in Computer and Information Science*. 2019. V. 1094.
17. Tsolakis N., Bechtsis D., Bochtis D. Agros: A robot operating system based emulation tool for agricultural robotics. *Agronomy*. 2019 V. 9. N. 7.

18. Verdouw C., Kruize J. W. Digital twins in farm management: illustrations from the FIWARE accelerators SmartAgriFood and Fractals. 7th Asian-Australasian Conference on Precision Agriculture. 2017.
19. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming - A review. *Agricultural Systems*. 2017. N 153. Pp. 69-80.
20. Technology transfer. Guidelines for assessing the level of maturity of technologies: GOST R 58058-2017. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 41 p.
21. Bryl S. V., Zverkov M. S. Creation of a Digital Relief Model of a Reclamation Object Based on Earth Remote Sensing Data. *System technologies*. 2021. № 4 (41). Pp. 37-42.
22. Demichev V. V. EU Digitalization Strategy until 2030: Useful Experience for Agriculture in Russia. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2021. V. 4. № 12 (120). Pp. 98-104.
23. Romantseva Y. N., Demichev V. V. World Trends and Approaches to the Digitalization of the Agro-Industrial Complex. *Drucker's Bulletin*. 2021. № 5 (43). Pp. 168-181.
24. Timirgaleeva R. R., Verdysh M. V. Formation of a Model of the Digital Environment of the Management System of the Agro-Industrial Complex. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2022. № 5. Pp. 54-58.

Информация об авторах

Боровой Станислав Евгеньевич, младший научный сотрудник лаборатории мониторинга агроландшафтов, «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), e-mail: borovoy.s.e@yandex.ru

Комарова Ольга Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории мониторинга агроландшафтов, «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), e-mail: komarova62@rambler.ru

Козенко Константин Юрьевич, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник лаборатории экономических исследований, «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), e-mail: k-kozenko@rambler.ru

Author's Information

Borovoy Stanislav Evgenievich, Junior Researcher, Laboratory of Monitoring of Agrolandscapes, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev st., 9), e-mail: borovoy.s.e@yandex.ru

Komarova Olga Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Monitoring of Agrolandscapes, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev st., 9), e-mail: komarova62@rambler.ru

Kozenko Konstantin Yuryevich, Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Economic Research, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev st., 9), e-mail: k-kozenko@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-20

GEOINFORMATION ANALYSIS OF THE KALACH UPLAND AGRICULTURAL LANDSCAPES ON THE EXAMPLE OF THE "SOLOMKA" RESEARCH GROUND

Istomin S. A., Khnyckin A. S.

*Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences"
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: istomin-s@vfan.ru

Received 25.01.2023

Submitted 04.04.2024

The research was carried out within the framework of state task No. FNFE-2022-0011 "Development of a new methodology for optimal management of biological resources in agrolandscapes of the arid zone of the Russian Federation using system-dynamic modeling of soil and hydrological processes, a comprehensive assessment of the climate change impact and anthropogenic loads on agrobiological potential and forest conditions"

Summary

The article presents the results of agroforestry mapping of the territory of the Solonka landfill. It was revealed that the study area is experiencing significant anthropogenic load, since the share of plowing is 70.6% of the landfill. An analysis of agricultural land was carried out by area, average steepness and exposure of slopes, and fields were identified according to the risks of degradation: deflation-hazardous is 48% of the field area, and potentially erosion-hazardous is 44%.

Abstract

Introduction. The active economic activities development related to the use of natural resources has a significant impact on nature-territorial complexes. Geoinformation analysis of the territory is one of the stages of obtaining primary information about the landscape components characteristics. Environmental protection measures are being developed and implemented on the data obtained basement. **Research object.** The "Solonka" research ground with an area of 37614.5 hectares is located in the western part of the Nekhaevsky municipal district near the Solonka village. **Materials and methods.** Within the framework of this study, the methodology is based on five stages: preliminary decryption (primary analysis of the study area); field research (building environmentally

landscape profiles); decryption features extrapolation (unvisited territories decryption based on revealed at a key site signs and geomorphological characteristics analysis using the SRTM digital model); field control (visiting disputed areas); final mapping (construction and analysis of final maps based on previous research). **Conclusion.** As a result of the Solonka research ground geoinformation analysis, it was revealed that the research area is under significant anthropogenic stress, since the share of plowing is 70.6% of the research ground, while the total forest cover is 9.54%. The research site geomorphological characteristics analysis was carried out. As a result, it was found that 93.9% of the territory has a slope of 0.5°-7°. The slopes exposure is mainly southern, northern, southwestern and western, which is due to the slope of the terrain towards ravines and balkas. The spatial data analysis made it possible to analyze area, average steepness and exposure of slopes on agricultural land, as well as to find out that deflation-hazardous territories account for 48% of the field area, and potentially erosive-dangerous – 44%. The main part of the deflation-hazardous ploughs belongs to the northern (22%) and north-western (23%) exposures. The most erosive fields are located on slopes of northern (18%), eastern (18%) and southwestern (18%) exposures.

Keywords: Kalach Upland, land degradation, arable land, satellite imagery, GIS technologies.

Citation. Istomin S. A., Khnyckin A. S. Geoinformation analysis of the Kalach upland agricultural landscapes on the example of the "Solonka" research ground. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 174-184 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-20.

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 final version presented.

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

УДК 631.459

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ АГРОЛАНДШАФТОВ КАЛАЧСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПОЛИГОНА «СОЛОНКА»

Истомин С. А., младший научный сотрудник
Хныкин А. С., инженер-исследователь

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

Исследования проведены в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН
№ FNFE-2022-0011 «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в
агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирова-
ния почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических измене-
ний и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия»

Актуальность. Активное развитие хозяйственной деятельности, связанное с использованием природных ресурсов, оказывает значительное влияние на природно-территориальные комплексы. Геоинформационный анализ территории является одним из этапов получения первичной информации о характеристиках компонентов ландшафта. На основании полученных данных разрабатываются и реализуются природоохранные мероприятия. **Объект.** Полигон «Солонка» площадью 37614,5 га расположен в западной части Нехаевского муниципального района у поселка Солонка. **Материалы и методы.** В рамках данного исследования за основу положена методика, состоящая из пяти этапов: предварительное дешифрирование (первичный анализ территории исследования); полевое эталонирование (ландшафтно-экологическое профилирование); экстраполяция дешифровочных признаков (дешифрирования не посещённых территорий по признакам, выработанному на ключевом участке и анализ геоморфологических характеристик с использованием цифровой модели SRTM); полевой контроль (посещение спорных участков); окончательное картографирование (на основе ранее проведенных исследований построение и анализ итоговых карт). **Вывод.** В результате геоинформационного анализа полигона «Солонка» выявлено, что территория исследования испытывает значительную антропогенную нагрузку, так как доля распашки составляет 70,6% полигона, тогда как общая лесистость – 9,54%. Выполнен анализ геоморфологических характеристик полигона исследования, в результате которого установлено, что 93,9% территории имеют уклон 0,5°-7°. Экспозиция склонов в основном южная, северная, юго-западная и западная, что связано с уклоном рельефа к оврагам и балкам. Анализ пространственных данных позволил провести анализ сельскохозяйственных угодий по площади, средней крутизне и экспозиции склонов, а также выделить по рискам деградации: дефляционно-опасные составляют 48% площади полей, а потенциально эрозивно-опасные – 44%. Основная часть дефляционно-опасных распахов относится к северной (22%) и северо-западной (23%) экспозиции. Наиболее эрозивно-опасные поля с северной (18%), восточной (18%) и юго-западной (18%) экспозицией.

Ключевые слова: Калачская возвышенность, деградация земель, пашни, космоснимки, ГИС-технологии.

Цитирование. Истомин С. А., Хныкин А. С. Геоинформационный анализ агроландшафтов Калачской возвышенности на примере полигона «Солонка». *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 174-184. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-20.

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 последние годы антропогенная нагрузка на биосферу резко возросла, что привело к глобальному ухудшению экологической ситуации [1]. Деградация земель наносит огромный экономический ущерб и ухудшает социальные условия жизни людей (Агролесомелиоративное картографирование ..., Кулик, 2004). Проблема рационального природопользования является одной из важнейших задач общенациональной значимости, так как данный процесс интегрируется в единую систему управления социально-экономическим развитием страны. Для минимизации антропогенного воздействия на экосистемы должны разрабатываться эффективные и экономически выгодные природоохранные мероприятия на основе актуальной информации об основных характеристиках ландшафта [2-4].

Метод комбинированного картографирования является одним из этапов получения первичной информации об основных характеристиках компонентов ландшафта, таких как динамика процессов деградации и антропогенной нагрузки состояние почвенно-растительного покрова и других факторов природной среды. Автором методики комбинированного картографирования являлся Б. В. Виноградов (Аэрокосмический мониторинг экосистем, В. Б. Виноградов, 1984), в дальнейшем ее усовершенствовал К. Н. Кулик (Агролесомелиоративное картографирование ..., Кулик, 2004) [5, 6].

Одним из значимых центров развития сельскохозяйственного производства Волгоградской области является Нехаевский муниципальный район, расположенный в северо-западной части Волгоградской области в пределах Калачской возвышенности [7, 8]. Площадь района – 218,3 тыс. га. Население на 01.01.23 составляет 13014 человек. Основная специализация – производство сельскохозяйственной продукции, так в 2023 году посевные площади сельскохозяйственных культур (весеннего учета) составляли 111 тыс. га, что соответствует порядка 50% от площади района (Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области, 2024). Зональные почвы – чернозем обыкновенный и чернозем южный [8].

По данным ближайшей метеостанции, расположенной в городе Калач, за 2012-2022 гг. среднегодовая температура – 8,43°C, сумма активных температур составляет более 3205°C, количество осадков 536.1 мм, а гидротермический коэффициент 0.78 (База данных «База данных климатических показателей для оценки...», Кулик и др., 2023), что говорит о пригодности территории района для выращивания различных сельскохозяйственных культур. Территория Нехаевского района изрезана оврагами и балками, что создает предпосылки для развития водной эрозии почв. Стоит отметить, что часто распаиваются приовражные и прибалочные территории, склоны речных долин, что приводит к усилению процессов оврагообразования и плоскостного смыва [7, 8, 9].

Материалы и методы. Проведение работ осуществлялось на полигоне площадью 37614.5 га, который расположен в западной части Нехаевского муниципального района у поселка Солонка.

За основу положена схема технологии работ с космическими снимками и картографическими материалами в агролесомелиорации, состоящей из пяти этапов:

- предварительное дешифрирование;
- полевое эталонирование;
- экстраполяция дешифровочных признаков;
- полевой контроль;
- окончательное картографирование (Агролесомелиоративное картографирование ..., Кулик, 2004).

Согласно методическим рекомендациям на предварительном этапе выполнен анализ территории исследования с определением ключевого участка для проведения полевого эталонирования.

В рамках полевого эталонирования изучены компоненты ландшафта и связи между ними на заложенном ландшафтно-экологическом профиле (Методические указания по ландшафтно-экологическому профилированию..., Кулик и др., 2007), который проходил через типичные фации для данной местности. Основные формы микро- и мезорельефа определялись нивелирным ходом с фиксацией антропогенных объектов. Также проводилось описание растительности, закладка почвенного разреза и осуществлялось ручное бурение скважин буром Н.Ф. Кулика (патент № 137613) с отбором образцов для описания почвенного покрова (Полевой определитель почв России, 2008).

Этап экстраполяции состоял из дешифрирования не посещённых территорий по признакам, выработанным на ключевом участке (Агролесомелиоративное картографирование ..., Кулик, 2004). Выполнено дешифрирование космического снимка Sentinel-2 (пространственное разрешение 10 м/пикс.) за 18.08.2023 г. Для оценки территории выделены различные элементы ландшафта (распашки, полезащитные лесные полосы, байрачные леса и селитебные территории).

Проведен геоинформационный анализ геоморфологических характеристик полигона «Солонка» с использованием цифровой модели SRTM. При определении формы рельефа по следующим параметрам: равнина (крутизна склона менее 0,5°); склон очень пологий (0,5°-2°); склон пологий (2°-7°); склон покатый (7°-15°); склон крутой (15°-40°); склон обрывистый (более 40°). Определение экспозиции склона выполнено по 8-румбам [10].

На этапе полевого контроля дополнительно посещались участки, дешифровочные признаки которых требовали дополнительного уточнения (Агролесомелиоративное картографирование ..., Кулик, 2004).

Окончательное картографирование включало построение и анализ итоговых карт территории полигона, основанные на геоморфологической характеристике. Для сельскохозяйственных угодий, расположенных на равнинах и очень пологих склонах основным видом деградации является дефляция, также характерно практическое отсутствие водной эрозии. На пологих склонах характерно совместное проявление дефляции и водной эрозии. При геоинформационном анализе использовался критерий площади поля, с тем учетом, что на черноземных почвах распашки более 100 га относятся к потенциально подверженным дефляции площадям, так как не соответствуют нормам защищенности от возможной дефляции по площади [10].

Анализ распределения полей по 8-румбовой экспозиции позволяет разработать противоэрозионные агrolесомелиоративные мероприятия с учетом геоморфологической характеристики территории [10].

Результаты и обсуждения. Территория полигона «Солонка» площадью 37614.5 га располагается в западной части Нехаевского района Волгоградской области. Восточной границей территории является автодорога, соединяющая ст. Нехаевскую и ст. Казанскую. Западная граница – граница Волгоградской с Ростовской и Воронежской областями (рисунок 1).

При проведении предварительного этапа исследований полигона определены наиболее типичные элементы ландшафта и выбрано место, согласно методическим рекомендациям (Агролесомелиоративное картографирование ..., Кулик, 2004) для прохождения ландшафтно-экологического профиля (Методические указания по ландшафтно-экологическому профилированию..., Кулик и др., 2007).

В рамках этапа полевого эталонирования на местности проведен рекогносцировочный осмотр и уточнен маршрут проведения ландшафтно-экологического профилирования, которое осуществлено в юго-восточном направлении по азимуту 100-115°, протяженностью 3410 м. Начальной точкой профиля является байрачный лес. Окончание профиля – пашня (рисунок 2).

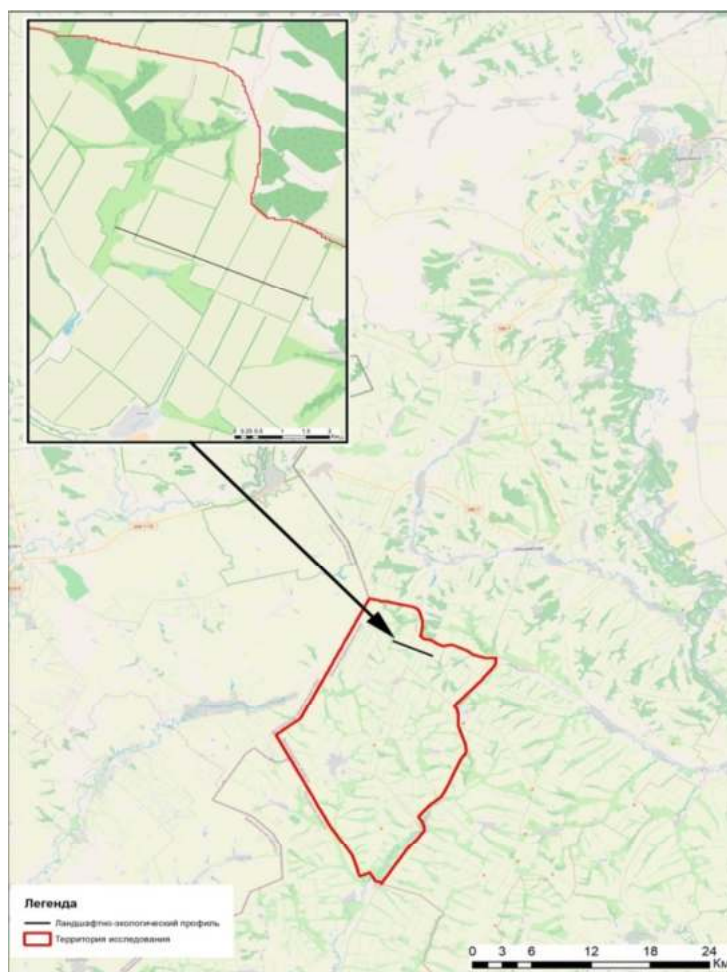


Рисунок 1 – Полигон «Солонка»
Figure 1 – “Solonka” research ground

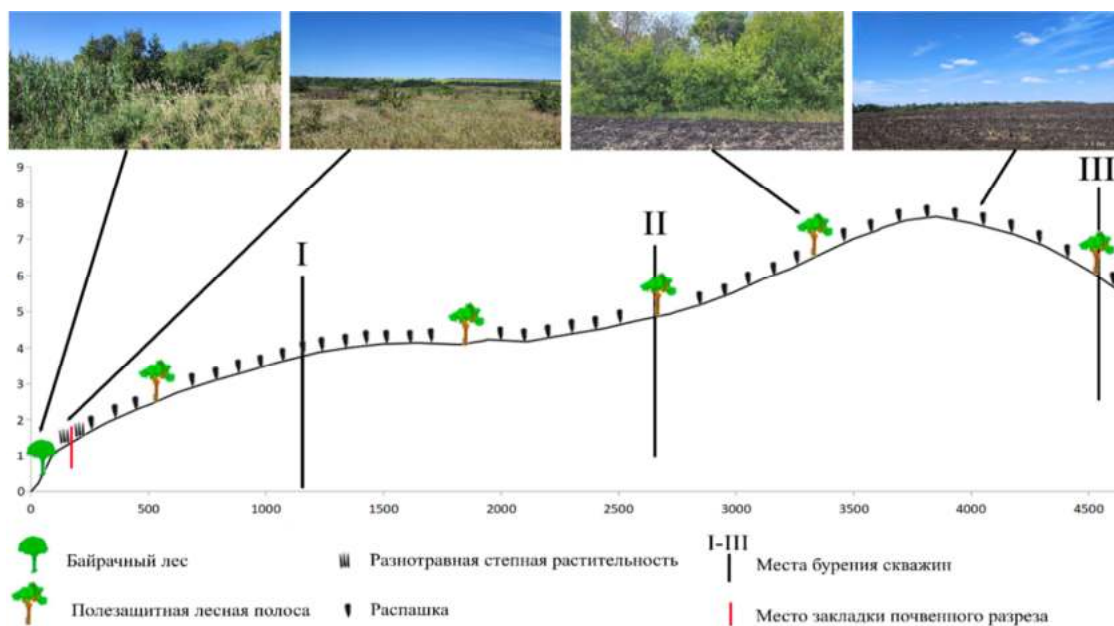


Рисунок 2 – Ландшафтно-экологический профиль
Figure 2 – Environmentally landscape profile

На этапе экстраполяции выполнено дешифрирование космического снимка Sentinel-2 за 18.08.2023 г. (рисунок 4).

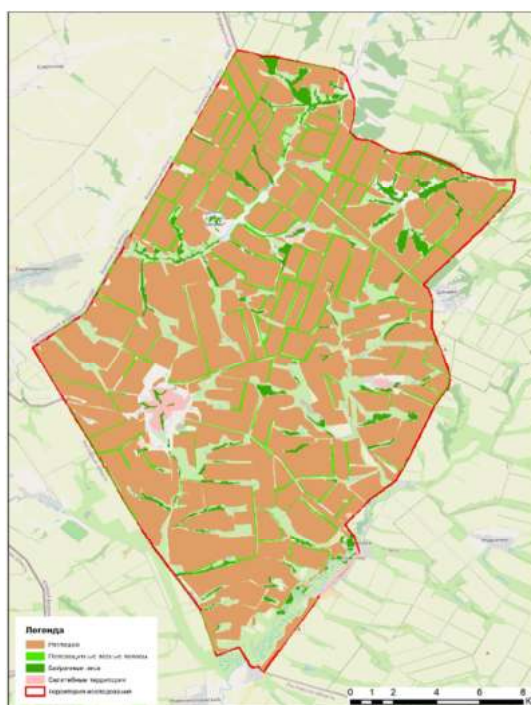


Рисунок 4 – Картосхема основных элементов ландшафта полигона «Солонка»
Figure 4 – Mapping scheme of the main landscape elements of the "Solonka" research ground

Проанализировав результаты дешифрирования исследуемой территории за 2023 г., выделены различные элементы ландшафта и определены их площади.

Таблица 1 – Результаты дешифрирования полигона «Солонка»
Table 1 – Decryption results of the "Solonka" research ground

Элементы ландшафта / Landscape elements	Площадь, га/Area, ha
Распашка / Plowing ground	26552.23
Полезастные лесные полосы / Protective forest belts	2134.24
Байрачный лес / Ravine forest	1455.07
Селитебные территории / Residential areas	314.35
Территория полигона «Солонка» / "Solonka" research ground area	37614.5

Территория полигона подвержена активному антропогенному воздействию. Площадь распашки составляет 70,6% от общей площади. Селитебные территории занимают менее 1%. Леса, расположенные в пределах исследуемого участка, обладают ресурсостабилизирующими функциями. Общая лесистость составляет 9,54%. Полезастные лесные полосы занимают 5,67% полигона, выполняют мелиоративную функцию полевых севооборотов и способствуют созданию устойчивых агроландшафтов путем формирования благоприятной аграрной среды: микроклимат; почвенное плодородие; «ветровая тень» на полях и др. [11]. Байрачные леса, растущие по дну и склонам балок, покрывают 3,87% от территории полигона, выполняют противозерозионные, аккумулятивные, водорегулирующие функции [12].

Для определения основных геоморфологических характеристик территории полигона «Солонка» на основе цифровой модели SRTM построены карты крутизны и экспозиции склонов (рисунок 5).

Большая часть полигона имеет пологий (50%) и очень пологий (44%) уклон. Экспозиция склонов в основном южная, северная, юго-западная и западная, что связано с уклоном рельефа к оврагам и балкам.

В рамках выполнения этапа полевого контроля дополнительно посещен полигон в местах требовавших уточнения данных.

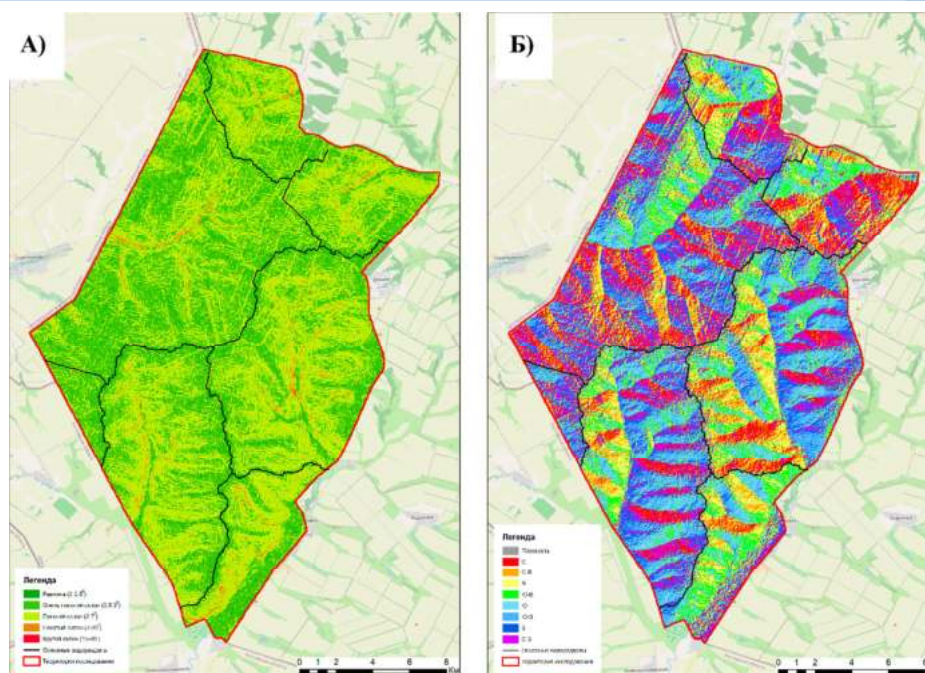


Рисунок 5 – Картограммы геоморфологических характеристик полигона «Солонка»:

А – крутизна склонов, Б – экспозиция склонов

Figure 5 – Mapping schemes of "Solonka" research ground geomorphological features:

А – slopes steepness, B – slopes exposure

На заключительном этапе работ выполнено итоговое картографирование. На основе цифровой модели рельефа и дешифрирования космических снимков построены картограммы полигона «Солонка», которые дают характеристику сельскохозяйственных угодий (рисунок 6).

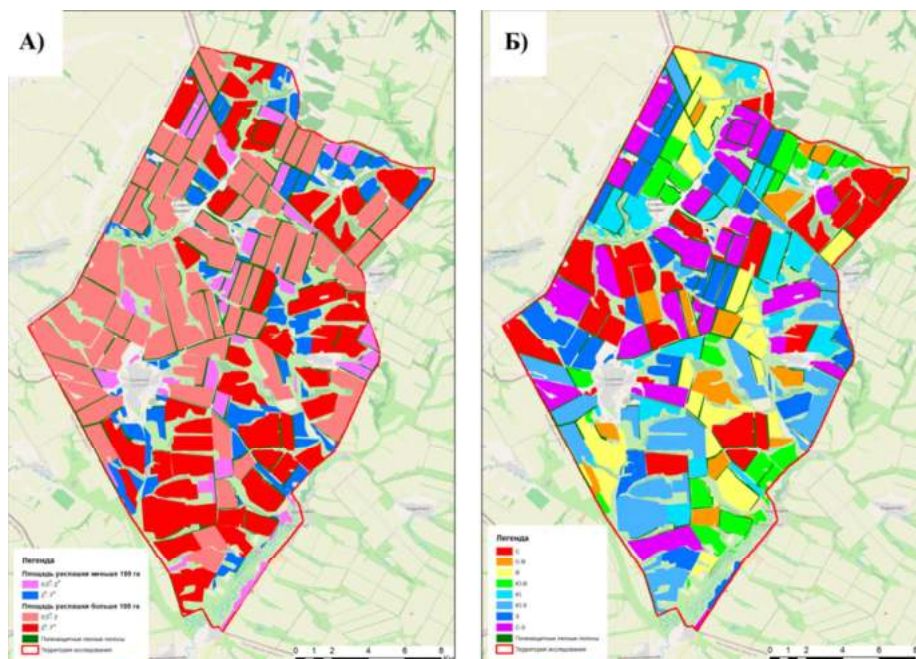


Рисунок 6 – Картограммы распределения распаек по геоморфологическим характеристикам полигона «Солонка»: А – средний уклон поля, Б – средняя экспозиция поля

Figure 6 – Mapping schemes of plowing grounds according to the "Solonka" research ground geomorphological features: A – average field slope, B – average slope exposure

Основная часть распахки с площадью больше 100 га и уклоном 2° - 7° располагается в южной и восточной частях полигона, где вдоль значительной части агроландшафтов отсутствуют полевые защитные лесные полосы, что способствует развитию процессов эрозии. Центральную, западную и северную часть территории исследования занимают поля площадью больше 100 га и уклоном $0,5^{\circ}$ - 2° . Экспозиция склонов связана с уклоном рельефа к оврагам и балкам.

Результаты анализа геоинформационного картографирования полей территории полигона приведены в таблице 2 и на рисунке 7.

Таблица 2 – Распределение распахов по крутизне склонов
Table 2 – Distribution of plowing grounds according to the slopes' steepness

Уклон / Steepness	Площадь одного поля больше 100 га / If the area of one field is more than 100 hectares		Площадь одного поля меньше 100 га / If the area of one field is less than 100 hectares	
	Общая площадь, га / Total area, ha	Количество / Quantity	Общая площадь, га / Total area, ha	Количество / Quantity
$0,5^{\circ}$ - 2°	12712,95	69	2116,04	41
2° - 7°	8720,37	46	3002,87	78
Всего / Total	21433,32	115	5118,91	119

При анализе полученных результатов установлено, что 48% площади сельскохозяйственных угодий преимущественно дефляционно-опасные по площади, так как их площадь более 100 га, при среднем уклоне $0,5^{\circ}$ - 2° . В меньшей степени подвержены процессам дефляции 8% пашни. Вероятность развития водной и ветровой эрозии высокая на 33% полей. В меньшей степени процессам эрозии подвержены 11% распахки, так как их площадь менее 100 га, а их уклон составляет 2° - 7° .

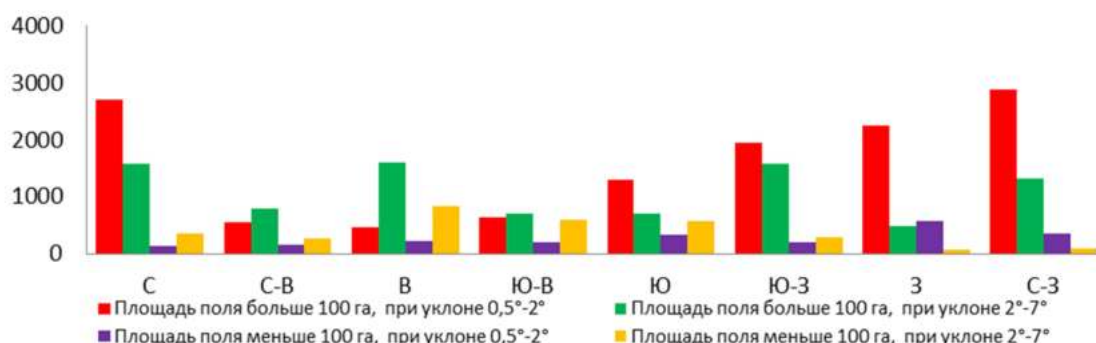


Рисунок 7 – Распределение площади распахов по экспозиции склонов
Figure 7 – Plowing grounds area distribution according the slopes exposure

В результате анализа сельскохозяйственных угодий по экспозиции склона установлено, что наибольшую долю занимают поля с северной (18%) и северо-западной (17%) экспозицией. Основная часть дефляционно-опасных распахов относится к северной (22%) и северо-западной (23%) экспозиции. Наиболее эрозионно-опасные поля с северной (18%), восточной (18%) и юго-западной (18%) экспозицией. Доля полей менее 100 га в основном восточной (4%) и южной (3%) экспозиции.

Заключение. В результате проведения оценки по схеме технологии работ с космическими снимками и картографическими материалами получена первичная информация по территории полигона «Солонка». Предварительный анализ включал определение территории для полевого эталонирования, в ходе которого проведено ландшафтно-экологическое профилирование, включающее анализ рельефа местности, а также описание почвенных особенностей агроландшафтов и растительности.

На этапе экстраполяции выполнено дешифрирование космического снимка Sentinel-2. Исследуемая местность испытывает значительную антропогенную нагрузку. Данное явление связано с тем, что распахка занимает 70,6%, а селитебная территория – 1%. Леса, располо-

женные в пределах исследуемого участка, обладают ресурсостабилизирующими функциями. Полезащитные лесные полосы занимают 5,67%, а байрачные леса – 3,87%. Общая лесистость составляет 9,54 %. Выполнен анализ геоморфологических характеристик полигона, установлено, что 94% территории имеют уклон $0,5^{\circ}$ - 7° . Экспозиция склонов в основном южная, северная, юго-западная и западная, что связано с уклоном рельефа к оврагам и балкам.

На заключительном этапе выполнено итоговое картографирование полей, в результате которого определено их распределение по площади, количеству средней крутизне и экспозиции. В пределах полигона «Солонка» преимущественно дефляционно-опасные участки составляют 48% площади распахов. Вероятность развития водной и ветровой эрозии возможна на 44% площади полей. Наибольшую долю занимают поля с северной (18%) и северо-западной (17%) экспозицией. Основная часть дефляционно-опасных распахов относится к северной (22%) и северо-западной (23%) экспозиции. Наиболее эрозионно-опасные поля с северной (18%), восточной (18%) и юго-западной (18%) экспозицией.

Для предотвращения процессов эрозии необходима реализация мелиоративных мероприятий путем высадки полезащитных лесных полос, которые способствуют созданию устойчивых агроландшафтов для формирования благоприятной аграрной среды. Для наиболее эффективной реализации агролесомелиоративных мероприятий необходимо учитывать особенности полей, к которым относятся площадь, крутизна и экспозиция склона. В пределах полигона «Солонка», вдоль полей, которые являются дефляционно-опасными и эрозионно-опасными, необходима высадка полезащитных лесных полос в местах, где они отсутствуют или деградированы.

Conclusions. As a result of the assessment according to the scheme of technology for working with satellite images and cartographic materials, primary information on the territory of the Solonka test site was obtained. The preliminary analysis included the identification of the area for field standardization, during which landscape and environmental profiling was carried out, including the analysis of the terrain, as well as the description of soil features of agrolandscapes and vegetation.

At the extrapolation stage, the Sentinel-2 satellite image was decoded. The study area is experiencing a significant anthropogenic load. This phenomenon is due to the fact that ploughing occupies 70.6%, and residential area – 1%. Forests located within the study area have resource-stabilizing functions. Shelterbelts occupy 5.67% and bairach forests – 3.87% the total forest cover is 9.54%. The analysis of the geomorphological characteristics of the polygon was carried out; it was found that 94% of the territory has a slope of 0.5° - 7° . The exposure of the slopes is mainly southern, northern, southwestern and western, which is due to the slope of the relief to ravines and gullies.

At the final stage, the final mapping of the fields was carried out, as a result of which their distribution by area, number, average steepness and exposure was determined. Within the boundaries of the Solonka landfill, predominantly deflationary-hazardous areas make up 48% of the ploughed area. The probability of water and wind erosion is possible on 44% of the field area. The largest share is occupied by fields with northern (18%) and northwestern (17%) exposure. Most of the deflationary-dangerous ploughing belongs to the northern (22%) and northwestern (23%) exposures. The most erosion-hazardous fields are with northern (18%), eastern (18%) and southwestern (18%) exposure.

To prevent erosion processes, it is necessary to implement reclamation measures by planting protective forest belts, which contribute to the creation of sustainable agricultural landscapes for the formation of a favorable agricultural environment. For the most effective implementation of agroforestry reclamation measures, it is necessary to take into account the characteristics of the fields, which include the area, steepness and exposure of the slope. Within the boundaries of the Solonka landfill, along the fields that are deflationary-hazardous and erosion-hazardous, it is necessary to plant protective forest belts in places where they are absent or degraded.

Библиографический список

1. Крючков С. Н., Маттис Г. Я. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт, 2014. 301 с.
2. Иванцова Е. А., Комарова И. А. Использование геоинформационных технологий и космических снимков для анализа агроландшафтов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 357-366.
3. Иванцова Е. А., Аль-Чаабави М. Р. А., Солодовников Д. А. Состояние и структура сельскохозяйственных угодий на полигоне Джулуб в провинции Майсан (Ирак). Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 56-65.
4. Кулик К. Н. 75 лет Плану преобразования природы. Итоги и уроки реализации. Научно-агрономический журнал. 2023. № 4 (123). С. 8-15.

5. Тубалов А. А. Агроресомелиоративное картографирование ландшафтов, подверженных развитию эрозии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 543-553.
6. Кулик К. Н., Дорохина З. П. Составление среднemasштабной агроландшафтной карты защитного лесоразведения. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 4. С. 24-25.
7. Кривохижин М. А., Куропятников Р. С., Рябинина Н. О. Природные условия и ландшафты Нехаевского района Волгоградской области. Вопросы степеведения. 2014. № 12. С. 87-91.
8. Тубалов А. А. Оценка эрозионной опасности сельскохозяйственных земель правобережья Р. Хопер (в пределах Волгоградской области). Геоморфология. 2022. Т. 53. № 4. С. 109-124.
9. Сажин А. Н., Кулик К. Н., Васильев Ю. И. Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 334 с.
10. Юферев В. Г., Синельникова К. П., Берденгалиева А. Н. Геоинформационное картографирование дефляционно-опасных участков земель сельскохозяйственного назначения с использованием космоснимков. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 125-134.
11. Кулик К. Н., Кошелев А. В. Методическая основа агроресомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга. Лесотехнический журнал. 2017. № 3 (27). С. 107-113.
12. Рябцев И. С., Рябцева И. М., Тиходеева М. Ю. Особенности возобновления широколиственных пород в байрачном лесу (на примере участка «Острасьеви яры» государственного природного заповедника «Белогорье»). Biological Communications. 2011. № 1. С. 13-26.

References

1. Kryuchkov S. N., Mattis G. Y. Afforestation in Dry Conditions. Volgograd: All-Russian Research Agroforestry Reclamation Institute, 2014. 301 p.
2. Ivantsova E. A., Komarova I. A. Use of Geoinformation Technologies and Satellite Images for Agrolandscape Analysis. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2021. № 2 (62). Pp. 357-366.
3. Ivantsova E. A., Al-Chaabawi M. R. A., Solodovnikov D. A. State and Structure of Agricultural Land at the Julub Polygon in Maysan Province (Iraq). Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2023. № 2 (70). Pp. 56-65.
4. Kulik K. N. 75th Anniversary of the Plan for the Transformation of Nature. Outcomes and lessons learned. Scientific and Agronomic Journal. 2023. № 4 (123). Pp. 8-15.
5. Tubalov A. A. Agroforestry Mapping of Landscapes Susceptible to Erosion Development. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2022. № 4 (68). Pp. 543-553.
6. Kulik K. N., Dorokhina Z. P. Compilation of a medium-scale agrolandscape map of protective afforestation. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2010. № 4. Pp. 24-25.
7. Krivokhizhin M. A., Kuropyatnikov R. S., Ryabinina N. O. Natural Conditions and Landscapes of the Nekhaevsky District of the Volgograd Region. Issues of Steppe Studies. 2014. № 12. Pp. 87-91.
8. Tubalov A. A. Assessment of Erosion Hazard of Agricultural Lands on the Right Bank of the Koper River (within the Volgograd Region). Geomorphology. 2022. V. 53. № 4. Pp. 109-124.
9. Sazhin A. N., Kulik K. N., Vasilyev Y. I. Weather and Climate of the Volgograd Region. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2017. 334 p.
10. Yuferev V. G., Sinelnikova K. P., Berdengalieva A. N. Geoinformation Mapping of Deflationary-Dangerous Plots of Agricultural Land Using Satellite Images. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2023. № 2 (70). Pp. 125-134.
11. Kulik K. N., Koshelev A. V. Methodical Basis for Agroforestry Reclamation Assessment of Protective Forest Plantations According to Remote Monitoring Data. Forest Technical Journal. 2017. № 3 (27). Pp. 107-113.
12. Ryabtsev I. S., Ryabtseva I. M., Tikhodeeva M. Y. Features of the Renewal of Broad-leaved Species in the Bayrach Forest (on the Example of the Ostrasyevy Yary Site of the Belogorye State Nature Reserve). Biological Communications. 2011. № 1. Pp. 13-26.

Информация об авторах

Истомин Сергей Александрович, младший научный сотрудник лаборатории гидрологии агроресомелиоративных ландшафтов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0003-1511-832X, e-mail: istomin-s@vfanc.ru

Хныкин Александр Сергеевич, инженер-исследователь лаборатории гидрологии агроресомелиоративных ландшафтов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0001-8577-1960 e-mail: hnkin@vfanc.ru

Author's Information

Istomin Sergei Aleksandrovich, Junior Researcher of the Laboratory of Hydrology of Agroforestry landscapes, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr. Universitetskij, 97), ORCID: 0000-0003-1511-832X, e-mail: istomin-s@vfanc.ru

Khnykin Aleksander Sergeevich, Research Engineer of the Laboratory of Hydrology of Agroforestry landscapes, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr. Universitetskij, 97), ORCID: 0000-0001-8577-1960, e-mail: hnkin@vfanc.ru

**STUDY OF FACTORS INFLUENCING THE INDUCTION OF CALLUSOGENESIS
IN *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. IN VITRO****Fomenko N. G., Zholobova O. O.***Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS)
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: fomenko-n@vfanc.ru

Received 22.03.2024

Submitted 20.05.2024

The studies were carried out as part of the state task of the Research and Development Institute of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences PAH № 122020100427-1 "Develop the scientific basis for the conservation and reproduction of valuable genotypes of trees and shrubs in in vitro culture"**Summary**

The article presents the results of a study on the influence of auxin, light and explant type on the induction of callus genesis by *Robinia pseudoacacia* L. Optimal auxin concentrations and the most suitable explant for obtaining viable callus were determined

Abstract

Introduction. The use of selected material is an important condition for achieving high quality and ameliorative efficiency of protective forest plantations in agroforestry. The method of cultivation of isolated tissues on artificial nutrient media under in vitro conditions is widely used in biotechnology. Development and optimization of the processes of induction and obtaining morphogenic callus play an important role not only in scientific research, but also in industrial crop production. **Objects.** *Robinia pseudoacacia* L. and two auxins 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and indole-3-acetic acid (IAA) were selected as the object of study. **Research methods.** The study was carried out on the basis of FSC Agroecology RAS in the laboratory of biotechnology. Segments of leaf, seedling, hypocotyl, and root were used as explants. Cultivation was carried out for 4 weeks on Murashige and Scoog (MS) nutrient medium supplemented with auxins 2,4-D and IAA in three different concentrations: 0.1 mg/l; 0.5 mg/l; 1 mg/l. To evaluate the effect of light conditions on the induction of callusogenesis, half of the experimental samples were cultured in the dark, the other half with a photoperiod of 16 hr. At the end of the cultivation period, morphological parameters (color, structure), induction and average fresh weight of callus were evaluated. **Results and conclusions.** Based on the results of this study, it was found that *R. pseudoacacia* has a high capacity for callusogenesis, direct and indirect morphogenesis, and callus induction has a direct correlation with auxin concentration. The results showed that light is essential for callus formation and cultivation, darkening of callus tissue occurs faster when cultured in the dark. Hypocotyl explants and auxin 2,4-D at a concentration of 0.5 mg/l are the most suitable for induction and obtaining callus tissue of loose and medium-dense structure for further multiplication.

Keywords: callus, callus induction, explants, *Robinia pseudoacacia* L.**Citation.** Fomenko N. G., Zholobova O. O. Study of factors influencing the induction of callusogenesis in *Robinia pseudoacacia* L. in vitro. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 185-194 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-21.**Author's contribution.** Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study.**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

УДК 581.143.6

**ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИНДУКЦИЮ КАЛЛУСОГЕНЕЗА
У *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. В КУЛЬТУРЕ IN VITRO****Фоменко Н. Г., аспирант, младший научный сотрудник****Жолобова О. О., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник***ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)
г. Волгоград, Российская Федерация***Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания НИР
ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100427-1 «Разработать научные основы сохранения и
воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре in vitro»**

Актуальность. Применение отобранного материала является важным условием для достижения высокого качества и мелиоративной эффективности защитных лесных насаждений в агролесомелиорации. В биотехнологии широко используется метод культивирования изолированных

тканей на искусственных питательных средах в условиях *in vitro*. Разработка и оптимизация процессов индукции и получения морфогенного каллуса играют важную роль не только в научных исследованиях, но и в промышленном растениеводстве. **Объекты исследования.** Объектом исследования была выбрана Робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.) и два ауксина 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) и индол-3-уксусная кислота (ИУК). **Методы исследования.** Исследование проводилось на базе ФНЦ агроэкологии РАН в лаборатории биотехнологий. В качестве эксплантов использовали сегменты листа, семядолей, гипокотилия, корня. Культивирование осуществляли в течение 4-х недель на питательной среде Murashige и Scoog (MS) дополненной ауксинами 2,4-Д и ИУК в трех разных концентрациях: 0,1 мг/л; 0,5 мг/л; 1 мг/л. Для оценки влияния условий освещения на индукцию каллусогенеза половину экспериментальных образцов культивировали в темноте, вторую половину с фотопериодом 16 часов. По окончании периода культивирования оценивались морфологические показатели (цвет, структура), индукция и средний свежий вес каллуса. **Результаты и выводы.** По результатам проведенного исследования было установлено, что *R. pseudoacacia* обладает высокой способностью к каллусогенезу, прямому и непрямому морфогенезу, а также индукция каллуса имеет прямую зависимость от концентрации ауксина. Результаты показали, что свет необходим для образования и культивирования каллуса, при культивировании в темноте потемнение каллусной ткани происходит быстрее. Для индукции и получения каллусной ткани рыхлой и среднеплотной структуры с целью дальнейшего размножения наиболее подходящими являются экспланты гипокотилия и ауксин 2,4-Д в концентрации 0,5 мг/л.

Ключевые слова: каллус, индукция каллуса, экспланты, *Robinia pseudoacacia* L.

Цитирование. Фоменко Н. Г., Жолобова О. О. Изучение факторов, влияющих на индукцию каллусогенеза у *Robinia pseudoacacia* L. в культуре *in vitro*. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 185-194. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-21.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для борьбы с опустыниванием и деградацией земель особое внимание уделяется применению защитных лесных насаждений в агро сфере. Такие насаждения играют важную роль в восстановлении почвы и подавлении процессов эрозии. Они способны удерживать влагу, предотвращать вымывание плодородного слоя и защищать почву от прямого воздействия ветра и солнечных лучей.

Применение в агролесомелиорации отобранного материала является важным условием для достижения высокого качества и мелиоративной эффективности защитных лесных насаждений. Использование биотехнологических и селекционно-генетических методов позволяет ускоренно получать высококачественный семенной и посадочный материалы, повышать устойчивость деревьев к вредителям, болезням и абиотическим факторам [1].

Метод культивирования изолированных тканей на искусственных питательных средах в условиях *in vitro* широко применяется в биотехнологии. Он используется для сохранения и размножения ценных генотипов, а также для селекции и оздоровления посадочного материала. Разработка и оптимизация методов индукции и получения морфогенного каллуса важны не только для научных исследований, но и для промышленного растениеводства [2].

Каллус представляет собой интегрированную систему, которая может образовываться двумя путями: экзогенно (в результате пролиферации поверхностных клеток различных тканей растительного организма) и эндогенно (в глубине этих тканей) [3]. Калькулы каллусных тканей, полученные из эксплантов в условиях *in vitro*, могут выступать модельными объектами для изучения различных аспектов морфогенеза растений. Использование таких моделей позволяет изучить и оценить морфогенетические события, которые происходят в культивируемых *in vitro* клетках [4, 5]. Кроме того, культуры каллусных тканей можно использовать в качестве модельных объектов для получения продуктов вторичного метаболизма и создания новых форм растений, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам окружающей среды [6].

Однако индукция и получение морфогенного каллуса – достаточно сложный процесс, требующий тщательной оптимизации условий культивирования. Необходимо учитывать особенности каждого вида растений, оптимальные концентрации регуляторов роста, питательный состав среды, а также другие факторы, влияющие на дифференциацию и развитие каллуса [2, 7, 8].

На сегодняшний день было проведено значительное количество исследований по индукции каллусогенеза у лекарственных и сельскохозяйственных растений [9, 10, 11]. И несмотря на то что в последние годы научное сообщество все больше обращает внимание на важность изучения процессов индукции каллусогенеза на древесных растениях, данный вопрос остается недостаточно исследованным.

Цель исследования – изучение особенностей каллусообразования *in vitro* у эксплантов: корень, гипокотиль, семядоли, листья *Robinia pseudoacacia* на питательных средах различного гормонального состава и условий освещения.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе ФНЦ агроэкологии РАН в лаборатории биотехнологий. В качестве модельного объекта была выбрана Робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.) которая является быстрорастущей лесообразующей древесной породой, обладающая высокими показателями засухоустойчивости и морозостойкости, а также используется для создания ветрозащитных полос и укрепления песков [12].

Поскольку для индукции каллусогенеза нежелательно использовать одревесневшие, плохо пролиферирующие и с низким уровнем метаболизма ткани [13, 14], предварительно были пророщены семена *R. pseudoacacia* в асептических условиях, чтобы получить наиболее пригодный материал для проведения исследования.

Перед введением семян скарифицировали кипятком. После полного остывания семян был использован последовательный режим стерилизации: 30-минутная промывка семян в дезинфицирующем мыльном растворе, 1-минутная обработка 70% раствором этанола (C_2H_5OH), 15-минутная выдержка в 10% растворе перекиси водорода (H_2O_2). Стерилизацию растительного материала проводили в условиях ламинар-бокса с последующей шестикратной промывкой стерильной дистиллированной водой. Простерилизованные и промытые семена помещали в баночки с питательной средой.

Питательные среды готовили по протоколу Murashige и Scoog (MS) [13], в качестве экзогенных регуляторов роста нами были выбраны два типа ауксинов: 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) и индол-3-уксусная кислота (ИУК) в трех разных концентрациях: 0,1 мг/л; 0,5 мг/л; 1 мг/л.

В качестве эксплантов использовали сегменты листа, семядолей, гипокотилей, корня. Для этого в условиях ламинар-бокса БМБ-П-«Ламинар-С»-1,2 при помощи стерильных скальпеля и пинцета отделяли части асептически выращенных растений и нарезали на фрагменты длиной примерно 0,5-1 см. Поскольку достаточно важным фактором для получения первичного каллуса является механическое повреждение тканей экспланта [15, 16], делали насечки (поранения) по всей поверхности эксплантов и помещали их в стерильную чашку Петри с питательной средой.

Культивирование проводили в течение 4-х недель при постоянной температуре 25°C и освещенности 70 мкмоль/с/м² в климатической камере роста растений TPL-500 (Testa, Россия). Для оценки влияния условий освещения на индукцию каллусогенеза, половину экспериментальных образцов культивировали в темноте, вторую половину с фотопериодом 16 часов. Исследование было проведено в трехкратной повторности.

По завершении периода культивирования оценивались морфологические показатели (цвет, структура), индукция и средний свежий вес каллуса.

Индукцию каллуса (ИК) рассчитывали по формуле [17]:

$$ИК = \frac{\text{кол} - \text{во каллуса индуцированное эксплантами}}{\text{общее кол} - \text{во инокулированных эксплантов}} * 100\%$$

Полученные данные по приросту массы каллуса статистически обрабатывали с использованием программы StatSoft Inc. (USA). Сравнение групп по количественному показателю проводилось с помощью критерия Тьюки. Полученные данные представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$. Построение диаграмм осуществлялось с использованием пакета программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного исследования было изучено влияние различных концентраций ауксинов (2,4-Д, ИУК) и условий освещения на эффективность индукции каллусообразования на четырех типах эксплантов – корень, гипокотиль, семядоля и лист.

Анализ полученных данных показал, что все 4 типа экспланта обладают способностью к каллусообразованию. Была установлена прямая зависимость индукции калусообразования от концентрации ауксина. На питательных средах, содержащей в своем составе ИУК наблюдалось повышение процента индукции каллусогенеза при увеличении концентрации ауксина. Максимальные показатели фиксировались на концентрациях 0,5 и 1 мг/л у эксплантов корня и гипокотыля. На семядольных эксплантах индукция полностью отсутствовала на всех трех концентрациях, у листовых эксплантов незначительные образования каллуса фиксировались только у образцов, культивируемых в темноте на концентрациях 0,5 и 1 мг/л (27,8% и 39,2% соответственно). Аналогичные результаты исследований были получены у *Arachis hypogaea* L. [18] и *Guizotia abyssinica* Cass. [19] где авторы также отмечали отсутствие каллусогенеза на эксплантах семядоли и листа при культивировании на среде MS содержащей ИУК.

На питательных средах с ауксином 2,4-Д образование каллуса фиксировалось на всех исследуемых эксплантах, наименьший процент ИК наблюдался при концентрации 0,1 мг/л у эксплантов семядоли культивируемых как при свете (33,3%) так и в темноте (11,1%). Также невысокий показатель ИК был зафиксирован на листовых эксплантах при свете и составил 22,2%. Во всех остальных случаях индукция каллусообразования была высокая – от 72,5 до 100% (таблица 1). Эффективность применения ауксина 2,4-Д для индукции каллусогенеза была также подтверждена у *Gazania rigens* L. [20], *Artemisia annua* L. [21] и *Nerium oleander* L. [22].

Таблица 1 – Индукция каллусообразования у *R. pseudoacacia* в зависимости от типа экспланта, ауксина и условий освещения, %

Table 1 – Induction of callus formation in *R. pseudoacacia* depending on the type of explant, auxin and light, %

мг/л / mg/l	Корень / Root		Гипокотиль / Hypocotyl		Семядоля / Cotyledon		Лист / Leaf	
	св. / light	тм. / darkness	св. / light	тм. / darkness	св. / light	тм. / darkness	св. / light	тм./ dark- ness
2,4-Д								
0,1	89,2±10,8	86,2±9,8	100±0	87,2±8,3	33,3±4,7	11,1±7,1	22,2±11,1	72,5±14,6
0,5	100±0	100±0	100±0	100±0	89,2±10,8	78,4±10,8	78,4±11,7	75,4±10,8
1	100±0	100±0	100±0	100±0	89,2±10,8	100±0	83,8±12,2	89,2±10,8
ИУК								
0,1	55,5±22,2	57,5±21,5	57,8±13,8	62,5±14,6	0	0	0	0
0,5	67±13,2	84,2±10,8	78,4±11,2	78,4±10,8	0	0	0	27,8±14,7
1	78,4±10,8	100±0	89,2±7,8	83,3±16,7	0	0	0	39,2±20,2

Условные обозначения: св. – свет; тм. – темнота / Legend: св. – light; тм.-darkness.

Было установлено, что прирост массы каллуса зависел от вида ауксина и его концентрации, а также от типа экспланта (рисунок 1). Прямой зависимости влияния условий культивирования установлено не было, на одних эксплантах прирост массы каллусной ткани был больше при культивировании в темноте, на других при свете.

Наибольшее нарастание массы каллуса наблюдалось на эксплантах корня и гипокотыля в присутствии ауксина 2,4-Д (0,5 и 1 мг/л). При культивировании на питательной среде с указанными концентрациями ауксина и освещения 16 часов был зафиксирован наибольший свежий вес каллуса корневого экспланта, который составил 1,16 и 0,86 г соответственно. На эксплантах гипокотыля наблюдалась обратная ситуация: максимальная масса каллуса была зафиксирована при культивировании в темноте при тех же концентрациях ауксина 2,4-Д и составила 1,28 и 1,29 г соответственно.

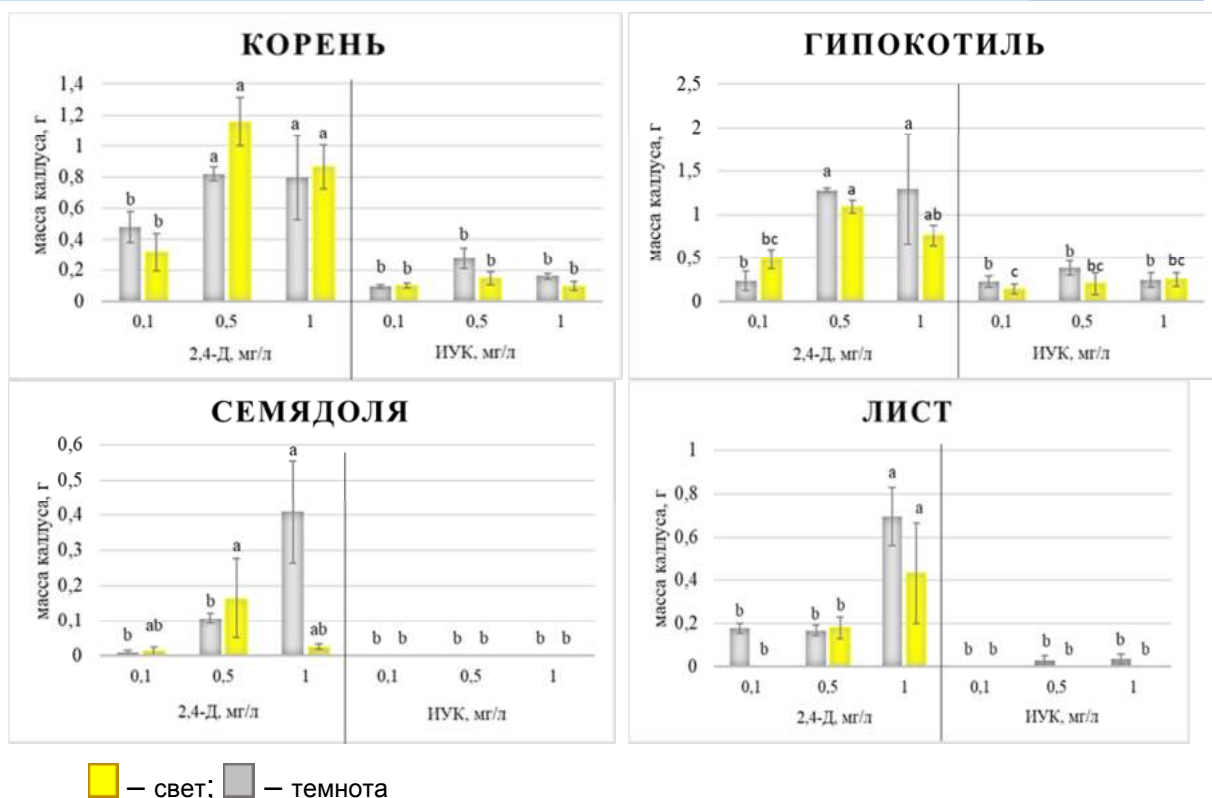


Рисунок 1 – Прирост массы каллуса на эксплантах *R. pseudoacacia*, в зависимости от ауксина и условий культивирования. Разные строчные буквы (а-с) показывают статистически значимые различия ($p < 0,05$)

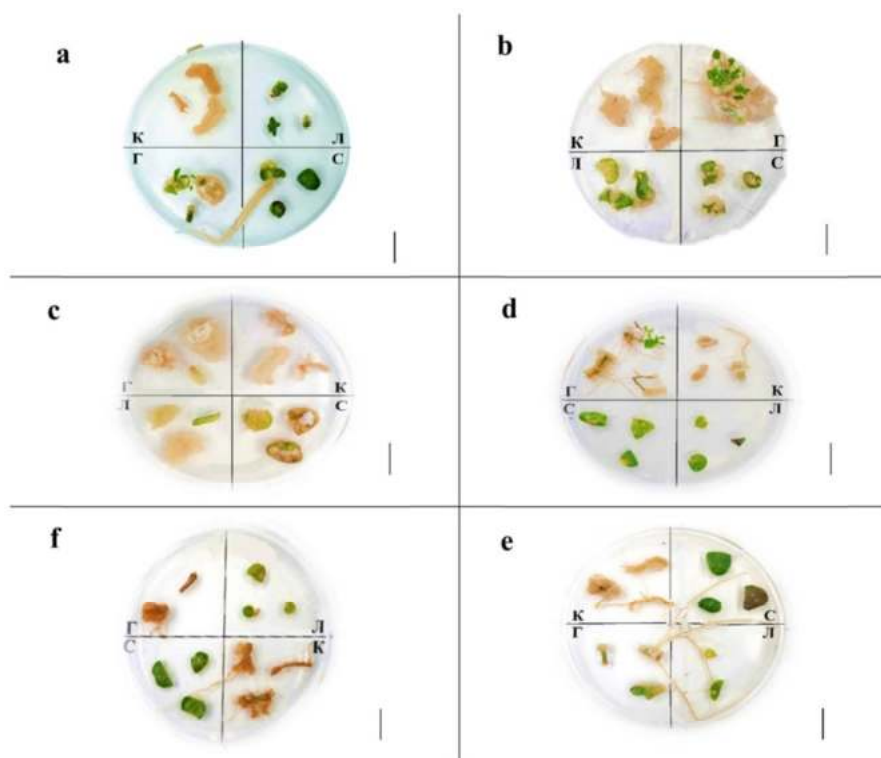
Figure 1 – Increase in callus weight on *R. pseudoacacia* explants, depending on auxin and cultivation conditions. Different lowercase letters (a-c) show statistically significant differences ($p < 0,05$)

Добавление в питательную среду ауксинов 2,4-Д 0,1 мг/л и ИУК 0,1; 0,5 и 1 мг/л не оказало существенного влияния на прирост массы каллуса эксплантов корня и гипокотыля. Средний прирост биомассы каллусных культур варьировался в пределах от 0,09 до 0,48 г.

На семядольных и листовых эксплантах отмечалась незначительная биомасса каллуса на всех исследуемых средах. Максимальные показатели были зафиксированы при культивировании в темноте на питательной среде с ауксином 2,4-Д 1 мг/л и составили 0,41 и 0,69 г соответственно. Аналогичные результаты были отмечены на листовых эксплантах *Citrus grandis* Osbeck [23].

Оценка морфологических особенностей образовавшегося каллуса проводилась на 28-30 день исследования. В процессе культивирования были получены каллусные ткани, отличавшиеся по окраске и структуре. Проведенное исследование позволило установить, что процесс потемнения каллусных культур при их культивировании в темноте происходит значительно быстрее по сравнению с образцами, выращиваемыми в присутствии света.

Также было выявлено, что на морфологическую структуру каллуса влияет концентрация ауксина. На питательных средах с низкой концентрацией ауксинов (0,1 мг/л) каллус был плотным и средней плотности (рисунок 2 а, d), с повышением концентрации ауксинов до 0,5 мг/л каллусная ткань становилась более рыхлой (рисунок 2 b), при этом на питательных средах с ИУК каллус был более темным по сравнению с другими образцами (рисунок 2 e). При самой высокой концентрации ауксинов (1 мг/л) отмечалась сильная обводненность и рыхлость каллусной ткани (рисунок 2 с, f). Закономерность влияния концентрации гормонов роста на структуру каллуса также была отмечена в исследованиях у *Actinidia deliciosa* Chev. [24] и *Citrus grandis* Osbeck [4].



Примечание: К – корень; Г – гипокотиль; С – семядоля; Л – лист. Масштаб 1 см
Note: K – root; D – hypocotyl; C – cotyledon; L – sheet. 1 cm scale

Рисунок 2 – Каллусные культуры *R. pseudoacacia* в зависимости от концентрации ауксинов:
а – 2,4-Д 0,1 мг/л; б – 2,4-Д 0,5 мг/л; в – 2,4-Д 1 мг/л; д – ИУК 0,1 мг/л; е – ИУК 0,5 мг/л; ф – ИУК 1 мг/л
Figure 2 – Callus cultures of *R. pseudoacacia* depending on the concentration of auxins:
a – 2,4-D 0,1 mg/l; b – 2,4-D 0,5 mg/l; c – 2,4-D 1 mg/l; d – IAA 0,1 mg/l; e – IAA 0,5 mg/l; f – IAA 1 mg/l

Подробное описание окраски и структуры каллусных культур *R. pseudoacacia* в зависимости от типа экспланта и ауксина, а также процент покрытия эксплантов каллусом представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Морфологические особенности каллусных культур *R. pseudoacacia* в зависимости типа экспланта и ауксина

Table 2 – Morphological features of callus cultures of *R. pseudoacacia* depending on the type of explant and auxin

Ауксин / auxin	мг/л / mg/l	Эксплант / explant	Окраска и структура каллусной ткани / Coloration and structure of callus tissue
1	2	3	4
2,4-Д	0,1	Корень ^{4*} / Root ^{4*} Гипокотиль ⁴ / Hypokotyl ⁴ Семядоля ¹ / Cotyledon Лист ² / Leaf	Светло-коричневый, плотный / Light brown, dense Светло-коричневый, ср. плотности** / Light brown, average density** Белый, ср. плотности / White, average density Белый, ср. плотности / White, average density
	0,5	Корень ⁴ / Root ^{4*} Гипокотиль ⁴ / Hypokotyl ⁴ Семядоля ² / Cotyledon Лист ¹ / Leaf	Бежевый, ср. плотности / Beige, average density Бежевый, рыхлый / Beige, loose Светло-бежевый, ср. плотности / Light beige, average density Светло-бежевый, ср. плотности / Light beige, average density
	1	Корень ⁴ / Root ^{4*} Гипокотиль ⁴ / Hypokotyl ⁴ Семядоля ¹ / Cotyledon Лист ³ / Leaf	Светло-бежевый, рыхлый / Light beige, loose Белый, рыхлый / White, loose Белый, рыхлый / White, loose Белый, рыхлый / White, loose

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
ИУК / IAC	0,1	Корень ¹ / Root ^{1*} Гипокотиль ² / Hypokotyl ² Семядоля ⁰ / Cotyledon Лист ⁰ / Leaf	Светло-коричневый, плотный / Light brown, dense Светло-коричневый, ср. плотный / Light brown, cf. dense Каллус не образовался / Callus did not form Каллус не образовался / Callus did not form
	0,5	Корень ³ / Root ^{3*} Гипокотиль ³ / Hypokotyl ³ Семядоля ⁰ / Cotyledon Лист ¹ / Leaf	Светло-коричневый, ср. плотности / Light brown, cf. dense Бежевый, ср. плотности / Beige, average density Каллус не образовался / Callus did not form Светло-коричневый, рыхлый / Light brown, loose
	1	Корень ¹ / Root ^{1*} Гипокотиль ² / Hypokotyl ² Семядоля ⁰ / Cotyledon Лист ¹ / Leaf	Бежевый, ср. плотности / Beige, average density Бежевый, ср. плотности / Beige, average density Каллус не образовался / Callus did not form Бежевый, рыхлый / Beige, loose

Примечание: *покрытие эксплантов каллусом: 0 – 0%, 1 – 25%, 2 – 50%, 3 – 75%, 4 – 100%.

**Средней плотности / Note: *Callus coverage of explants: 0 – 0%, 1 – 25%, 2 – 50%, 3 – 75%, 4 – 100%.

**Medium density

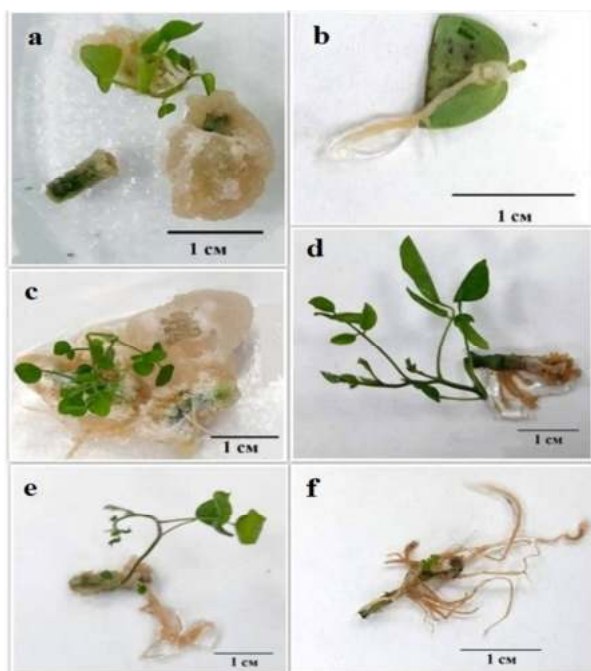


Рисунок 3 – Регенерация на эксплантатах *R. pseudoacacia*: а – регенерация побегов из каллуса на экспланте гипокотили (2,4-Д 0,1 мг/л); б – ризогенез из каллуса на экспланте семядоли (2,4-Д 0,1 мг/л); с, d – регенерация побегов и корней из каллуса на эксплантатах гипокотили (2,4-Д 0,5 мг/л и ИУК 0,5 мг/л соответственно); е, f – прямая регенерация побегов из корневых эксплантов (ИУК 0,1 и 0,5 мг/л)
Figure 3 – Regeneration on explants of *R. pseudoacacia*: а – regeneration of shoots from callus on a hypocotyl explant (2,4-D 0,1 mg/l); б – rhizogenesis from callus on a cotyledon explant (2,4-D 0,1 mg/l); с, d – regeneration of shoots and roots from callus on hypocotyl explants (2,4-D 0,5 mg/l and IAA 0,5 mg/l, respectively); е, f – direct regeneration of shoots from root explants (IAA 0,1 and 0,5 mg/l, respectively)

На питательных средах с ауксинами 2,4-Д в концентрациях 0,1 и 0,5 мг/л и ИУК 0,5 мг/л наблюдался прямой и непрямой морфогенез. В присутствии 2,4-Д 0,1 мг/л на эксплантатах гипокотили отмечалась активная регенерация побегов (рисунок 3 а), у семядольных эксплантов наблюдался ризогенез (рисунок 3 б). При увеличении концентрации ауксинов до 0,5 мг/л на гипокотильных эксплантатах происходила одновременная регенерация побегов и корней (рисунок 3 с, d). На самых высоких концентрациях (1 мг/л) ауксинов 2,4-Д и ИУК регенерирующего каллуса обнаружено не было. В присутствии ауксина ИУК 0,1 мг/л и 1 мг/л, отмечалась прямая регенерация побегов на корневых эксплантатах (рисунок 3 е, f).

Заключение. По результатам проведенных исследований было установлено, что *R. pseudoacacia* обладает способностью к каллусогенезу, прямому и непрямому морфогенезу. Кроме того, было установлено, что концентрация ауксина и тип экспланта оказывают влияние на индукцию каллуса, структуру и прирост массы каллусной ткани. Также было отмечено, что при культивировании в темноте происходит быстрое потемнение каллусной ткани.

В соответствии с полученными результатами для каллусогенеза *R. pseudoacacia* наилучшим эксплантом является гипокотиль, так как при использовании данного экспланта на всех концентрациях исследуемых ауксинов был отмечен высокий процент индукции, который колеблется от 55,5% до 100%.

Каллусы, индуцированные ауксином ИУК, проявляли низкий уровень морфогенеза, они имели также небольшой прирост каллусной массы и уплотненную структуру при низких концентрациях. Максимальный прирост каллусной ткани отмечался на питательных средах с ауксином 2,4-Д в концентрациях 0,5 и 1 мг/л. Структура каллуса при использовании 2,4-Д в концентрации 0,1 мг/л была достаточно плотной, в то время как при концентрации 1 мг/л она была рыхлой, но очень обводненной. Исходя из этого для наращивания каллусной ткани среднеплотной и рыхлой структуры с целью размножения рекомендуется использовать 2,4-Д в концентрации 0,5 мг/л и эксплант гипокотиля.

Conclusions. Based on the results of these studies, *R. pseudoacacia* was found to be capable of callusogenesis, direct and indirect morphogenesis. In addition, auxin concentration and explant type were found to influence callus induction, structure and mass gain of callus tissue. It was also observed that rapid darkening of callus tissue occurred when cultured in the dark.

According to the results obtained, the best explant for callusogenesis of *R. pseudoacacia* is the hypocotyl, because when using this explant at all concentrations of auxins tested, a high percentage of induction was observed, which ranged from 55.5% to 100%.

Callus induced by auxin IAA showed a low level of morphogenesis, they also had low callus growth and compacted structure at low concentrations. Maximum growth of callus tissue was observed on nutrient media with auxin 2,4-D at concentrations of 0.5 and 1 mg/l. The callus structure when 2,4-D was used at a concentration of 0.1 mg/l was quite dense, whereas at a concentration of 1 mg/l it was loose but very watered. On this basis, it is recommended to use 2,4-D at a concentration of 0.5 mg/l and a hypocotyl explant to develop callus tissue with a medium dense and loose structure for propagation purposes.

Библиографический список

1. Чепурной В. С., Максимцов Д. В. Практическая агролесомелиорация: Методические указания по изучению эколого-биологических особенностей и морфологических признаков древесных видов для защитного лесоразведения. Краснодар, 2016. 98 с.
2. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Каллус in vitro как модельная система для исследования стрессоустойчивости растений к абиотическим факторам (на примере злаков). Успехи современной биологии. 2018. Т. 138. № 3. С. 283-293.
3. Батыгина Т. Б., Осадчий Я. В. Выявление гомологии клеточных элементов репродуктивных и формообразовательных структур. Успехи современной биологии. 2015. Т. 135. № 4. С. 337-345.
4. Ikeuchi M., Ogawa Y., Iwase A., Sugimoto K. Plant regeneration: cellular origins and molecular mechanisms. Development. 2016. V. 143. N. 9. Pp. 1442-1451.
5. Feher A. Callus, dedifferentiation, totipotency, somatic embryogenesis: what these terms mean in the era of molecular plant biology? Frontiers in plant science. 2019. V. 10. P. 536.
6. Нгуен Т. Х. Экспериментальный морфогенез в культуре изолированных клеток и тканей подсолнечника (*Helianthus annuus* L.). Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2007. № 2. С. 116-124.
7. Ikeuchi M., Sugimoto K., Iwase A. Plant callus: mechanisms of induction and repression. The plant cell. 2013. V. 25. N. 9. Pp. 3159-3173.
8. Colebrook E. H., Thomas S. G., Phillips A. L., Hedden P. The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. Journal of experimental biology. 2014. V. 217. N. 1. Pp. 67-75.
9. Goncharova Y. K., Kharitonov E. M., Bushman N. Y., Vereshchagina S. A. Comparative analysis of the efficiency of nutrient media for the induction of callus formation for rice hybrids. Russian agricultural sciences. 2014. V. 40. N. 1. Pp. 5-9.
10. Seldimirova O. A., Bezrukova M. V., Galin I. R., Lubyanova A. R., Shakirova F. M., Kруглова Н. Н. 24-epibrassinolide effects on in vitro callus tissue formation, growth, and regeneration in wheat varieties with contrasting drought resistance. Russian journal of plant physiology. 2017. V. 64. Pp. 919-929.
11. Khandy M. T., Kochkin D. V., Tomilova S. V., Galishev B. A., Sukhanova E. S., Klyushin A. G., et al. Obtaining and study of callus and suspension plant cell cultures of *Tribulus terrestris* L., a producer of steroidal glycosides. Applied biochemistry and microbiology. 2017. V. 53. Pp. 800-806.
12. Морозова Е. В., Изоус А. П., Крючков С. Н. Основные итоги селекции робинии лжеакация в Нижнем Поволжье. Успехи современного естествознания. 2018. № 12 (2). С. 290-295.
13. Дитченко Т. И. Культуры растительных клеток: учебное пособие. Минск: БГУ, 2018. 96 с.
14. Breton C., Cornu D., Chriqui D., Sauvanet A., Capelli P., Germain E., Jay-Allemand C. Somatic embryogenesis, micropropagation and plant regeneration of "Early Mature" walnut trees (*Juglans regia*) that flower in vitro. Tree Physiology. 2004. V. 24. N. 4. Pp. 425-435.

15. George E. F., Debergh P. C. Micropropagation: uses and methods. Plant propagation by tissue culture. Netherlands: Springer. 2008. Pp. 29-64.
16. Ramírez-Mosqueda M. A. Somatic Embryogenesis: Methods and Protocols. Springer Nature. 2022. Pp. 1-8.
17. Abdel-Hameid A. R., Abo El-kheir Z. A., Abdel-Hady M. S., Helmy W. A. Identification of DNA variation in callus derived from *Zingiber officinale* and anticoagulation activities of ginger rhizome and callus. Bulletin of the National Research Centre. 2020. V. 44. Pp. 1-8.
18. Palanivel S., Parvathi S., Jayabalan N. Callus induction and plantlet regeneration from mature cotyledonary segments of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Plant Biology. 2002. V. 45. Pp. 22-27.
19. Chambhare M. R., Nikam T. D. Influence of plant growth regulators on somatic embryogenesis in Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.): an edible oilseed crop. Journal of Crop Science and Biotechnology. 2022. V. 25. N. 2. Pp. 225-232.
20. Mahood H. E., Sarropoulou V., Tzatzani T. T. Effect of explant type (leaf, stem) and 2, 4-D concentration on callus induction: Influence of elicitor type (biotic, abiotic), elicitor concentration and elicitation time on biomass growth rate and costunolide biosynthesis in gazania (*Gazania rigens*) cell suspension cultures. Bioresources and Bioprocessing. 2022. V. 9. N. 1. Pp. 1-14.
21. Dangash A., Ram M., Niranjan R., Bharillya A., Misra H., Pandya N., & Chand D. In vitro selection and hormonal regulation in cell culture of *Artemisia annua* L. Plant JSM Cell Dev Biol. 2015. V. 25. P. 26.
22. Rashmi R., Trivedi M. P. Effect of various growth hormone concentration and combination on callus induction, nature of callus and callogenic response of *Nerium odorum*. Applied biochemistry and biotechnology. 2014. V. 172. Pp. 2562-2570.
23. Tao H., Shaolin P., Gaofeng D., Shaolin P. (2002) Plant regeneration from leaf-derived callus in *Citrus grandis* (pummelo): Effects of auxins in callus induction medium. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2002. V. 69. Pp. 141-146.
24. Akbaş F., Işikalan Ç., Namli S. Callus induction and plant regeneration from different explants of *Actinidia deliciosa*. Applied biochemistry and biotechnology. 2009. V. 158. Pp. 470-475.

References

1. Chepurnoy V. S., Maksimov D. V. Practical agroforestry: Guidelines for the study of ecological and biological features and morphological characteristics of tree species for protective afforestation. Krasnodar, 2016. 98 p.
2. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. In vitro callus as a model system for studying plant stress resistance to abiotic factors (on the example of cereals). Advances in modern biology. 2018. T. 138. № 3. Pp. 283-293.
3. Batygina T. B., Osadchiy Y. V. Identification of homology of cellular elements of reproductive and form-forming structures. Advances in modern biology. 2015. T. 135. № 4. Pp. 337-345.
4. Ikeuchi M., Ogawa Y., Iwase A., Sugimoto K. Plant regeneration: cellular origins and molecular mechanisms. Development. 2016. V. 143. N. 9. P. 1442-1451.
5. Feher A. Callus, dedifferentiation, totipotency, somatic embryogenesis: what these terms mean in the era of molecular plant biology? Frontiers in plant science. 2019. V. 10. P. 536.
6. Nguyen T. H. Experimental morphogenesis in the culture of isolated cells and tissues of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2007. № 2. Pp. 116-124.
7. Ikeuchi M., Sugimoto K., Iwase A. Plant callus: mechanisms of induction and repression. The plant cell. 2013. V. 25. N. 9. Pp. 3159-3173.
8. Colebrook E. H., Thomas S. G., Phillips A. L., Hedden P. The role of gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress. Journal of experimental biology. 2014. V. 217. N. 1. Pp. 67-75.
9. Goncharova Y. K., Kharitonov E. M., Bushman N. Y., Vereshchagina S. A. Comparative analysis of the efficiency of nutrient media for the induction of callus formation for rice hybrids. Russian agricultural sciences. 2014. V. 40. N. 1. Pp. 5-9.
10. Seldimirova O. A., Bezrukova M. V., Galin I. R., Lubyanova A. R., Shakirova F. M., Kruglova N. N. 24-epibrassinolide effects on in vitro callus tissue formation, growth, and regeneration in wheat varieties with contrasting drought resistance. Russian journal of plant physiology. 2017. V. 64. Pp. 919-929.
11. Khandy M. T., Kochkin D. V., Tomilova S. V., Galishev B. A., Sukhanova E. S., Klyushin A. G., et al. Obtaining and study of callus and suspension plant cell cultures of *Tribulus terrestris* L., a producer of steroidal glycosides. Applied biochemistry and microbiology. 2017. V. 53. Pp. 800-806.
12. Morozova E. V., Isos A. P., Kryuchkov S. N. Main Results of Selection of Robinia pseudoacacia in the Lower Volga Region. Advances in modern natural science. 2018. № 12 (2). Pp. 290-295.
13. Ditchenko T. I. Cultures of plant cells: a textbook. Minsk: BSU, 2018. 96 p.
14. Breton C., Cornu D., Chriqui D., Sauvanet A., Capelli P., Germain E., Jay-Allemand C. Somatic embryogenesis, micropropagation and plant regeneration of "Early Mature" walnut trees (*Juglans regia*) that flower in vitro. Tree Physiology. 2004. V. 24. N. 4. Pp. 425-435.
15. George E. F., Debergh P. C. Micropropagation: uses and methods. Plant propagation by tissue culture. Netherlands: Springer. 2008. Pp. 29-64.
16. Ramírez-Mosqueda M. A. Somatic Embryogenesis: Methods and Protocols. Springer Nature. 2022. Pp. 1-8.
17. Abd El-Hameid A. R., Abo El-kheir Z. A., Abdel-Hady M. S., & Helmy W. A. Identification of DNA variation in callus derived from *Zingiber officinale* and anticoagulation activities of ginger rhizome and callus. Bulletin of the National Research Centre. 2020. V. 44. Pp. 1-8.
18. Palanivel S., Parvathi S., Jayabalan N. Callus induction and plantlet regeneration from mature cotyledonary segments of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Plant Biology. 2002. V. 45. Pp. 22-27.
19. Chambhare M. R., Nikam T. D. Influence of plant growth regulators on somatic embryogenesis in Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.): an edible oilseed crop. Journal of Crop Science and Biotechnology. 2022. V. 25. N. 2. Pp. 225-232.
20. Mahood H. E., Sarropoulou V., Tzatzani T. T. Effect of explant type (leaf, stem) and 2, 4-D concentration on callus induction: Influence of elicitor type (biotic, abiotic), elicitor concentration and elicitation time on biomass growth rate and costunolide biosynthesis in gazania (*Gazania rigens*) cell suspension cultures. Bioresources and Bioprocessing. 2022. V. 9. N. 1. Pp. 1-14.

21. Dangash A., Ram M., Niranjan R., Bharillya A., Misra H., Pandya N., & Chand D. In vitro selection and hormonal regulation in cell culture of *Artemisia annua* L. Plant JSM Cell Dev Biol. 2015. V. 25. P. 26.
22. Rashmi R., Trivedi M. P. Effect of various growth hormone concentration and combination on callus induction, nature of callus and callogenic response of *Nerium odorum*. Applied biochemistry and biotechnology. 2014. V. 172. Pp. 2562-2570.
23. Tao H., Shaolin P., Gaofeng D., Shaolin P. (2002) Plant regeneration from leaf-derived callus in *Citrus grandis* (pummelo): Effects of auxins in callus induction medium. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2002. V. 69. Pp. 141-146.
24. Akbaş F., Işikalan Ç., Namli S. Callus induction and plant regeneration from different explants of *Actinidia deliciosa*. Applied biochemistry and biotechnology. 2009. V. 158. Pp. 470-475.

Информация об авторах

Фоменко Надежда Геннадьевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID 0000-0002-0783-6447, e-mail: fomenko-n@vfanc.ru

Жолобова Ольга Олеговна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (400062, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Author's Information

Fomenko Nadezhda Gennadievna, graduate student, junior researcher at the laboratory of biotechnology of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID 0000-0002-0783-6447, e-mail: fomenko-n@vfanc.ru

Zholobova Olga Olegovna, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the biotechnology laboratory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-22

STUDY OF A WATER-RETAINING STRUCTURE FOR THE PASSAGE OF SEDIMENTS ON RECLAMATION CANALS

¹Hasan M., ²Kuznetsov Y. V.¹Aleppo University

Aleppo, Syrian Arab Republic

²Kuban State Agrarian University

Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: marwahasan444@gmail.com

Received 05.02.2024

Submitted 20.05.2024

Summary

Existing structures of retaining structures retain a large amount of sediment and debris, various algae at their threshold, this leads to a negative impact on the quality of irrigation water, the normal operation of pumping stations and irrigation equipment, consequently, on productivity. All of these reasons made it necessary to develop water retaining structures to improve the operation of pumping stations and increase the efficiency of irrigation systems. The passage of sediment through water retaining structures was studied in the Hydraulics Department laboratory of KubGAU on a glass tray. The percentage of sand that passed through polygonal weirs for the upper slope was calculated – 0; 1:1 and 2:1 and the angles of the side walls to its axis $\alpha = 30^\circ$, 45° , 60° and the classic weir 90° . The results of the experiments showed that the maximum percentage of sediment passage was established on a polygonal weir of a practical profile with a 2:1 upper slope and at an angle of the side walls of the weir to its axis of 30° .

Abstract

Introduction. Been studied the passage of sediments through water retention structures (polygonal weirs) for angles of 30° , 45° and 60° for the side walls of the weir and a comparison of the results with each other and the classical weir ($\alpha = 90^\circ$) when laying the upper slope was 0; 1:1 and 2:1, according to the choice of the best model among the studied models that ensure maximum passage of sediment through the weir, protection of reclamation intakes from sediment while ensuring uninterrupted water consumption for irrigation systems and also improving irrigation water by passing sediment through the weir. Materials and methods. The passage of sediment through water retaining structures was studied in the Hydraulics Department laboratory of KubGAU on a glass tray 4.4 m long; 0.17 m wide; 0.3 m high. Polygonal and classical practical weir were made of gypsum material with angles 30° , 45° , 60° and 90° of the side walls of the weir. The upstream slope weir was 0; 1:1 and 2:1, and the laying of the lower slope was constant in all experiments – 1:2. Experiments were under the following conditions: The water flow rate Q was in the range of $(0.58 \cdot 10^{-3} - 9.94 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^3/\text{s}$, the diameter of the sediment particles was 0.1-0.25 mm, the pressure above the weir varied from $h = 1.3 \cdot 10^{-2}$ to $7.3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, and average water flow velocity were in the range from 0.041 to 0.409 m/s. Results and conclusion. Experimental studies of the passage of sediment through water retaining structure show that for all studied weirs, the average percentage of sand passing through a polygonal weir of a practical profile for the angles of the side walls $\alpha = 30^\circ$, 45° and 60° is 65.46%, 45.84% and 40.0% higher, respectively, compared with the classical one weir ($\alpha = 90^\circ$). Based on experimental

studies, it was proved that the maximum percentage of sand passing through a polygonal weir was 51.4% for a weir with a threshold height of 0.07 m, the angle of the side walls of the weir to its axis $\alpha = 30^\circ$ and the laying of the upper slope 2:1.

Keywords: water retaining structures, sediments, polygonal weir, classic weir, reclamation can.

Citation. Hasan M., Kuznetsov Y. V. Study of a water-retaining structure for the passage of sediments on reclamation canals. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 194-202 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-22.

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 631.672.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОДПОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОПУСКА НАНОСОВ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛАХ

¹Хасан М., аспирант

²Кузнецов Е. В., доктор технических наук, профессор

¹Университет Алеппо

г. Алеппо, Сирийская Арабская Республика

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. Целью данной работы является экспериментальное исследование пропускания наносов через водоподпорное сооружение в виде полигонального водослива практического профиля с различными углами боковых стенок к оси водослива $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ и 60° и сравнение результатов между собой и классическим водосливом ($\alpha = 90^\circ$) при заложении верхового откоса порога водослива 0; 1:1 и 2:1, по выбору наилучшей модели среди изучаемых моделей, обеспечивающих максимальный пропуск наносов через порог, защите мелиоративных водозаборов от наносов при обеспечении бесперебойного водопотребления на оросительные системы, а также улучшению качественных показателей оросительной воды путем пропуска наносов через порог. Материалы и методы. Исследование пропускания наносов через водоподпорное сооружение проводилось в лаборатории кафедры гидравлики и с. х. водоснабжения КубГАУ на стеклянной лотке длиной 4,4 м; шириной 0,17 м; высотой 0,3 м, в котором была размещена модель водослива. Модели полигонального и классического водослива практического профиля были изготовлены из гипсового материала с различными углами боковых стенок к оси водослива $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ и 90° . Заложение верхового откоса порога водослива было – 0; 1:1 и 2:1, а заложение низового откоса было постоянным во всех экспериментах – 1:2. На установке проводились опыты при условиях: расход воды Q находился в пределах $(0,58 \cdot 10^{-3} - 9,94 \cdot 10^{-3})$ м³/с, диаметр частиц наносов был 0,1-0,25 мм, напор над водосливом изменялся от $h = 1,3 \cdot 10^{-2}$ до $7,3 \cdot 10^{-2}$ м, и средние скорости потока были в диапазоне от 0,041 до 0,409 м/с. Результаты и выводы. Экспериментальные исследования пропускания наносов через порог водоподпорного сооружения показывают, что для всех изучаемых водосливов средний процент песка, проходящего через полигональный водослив практического профиля для углов боковых стенок к оси водослива $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ и 60° больше на 65,46%, 45,84% и 40,0% соответственно по сравнению с классическим водосливом ($\alpha = 90^\circ$). На основании экспериментальных исследований доказано, что максимальный процент песка, проходящего через полигональный водослив, был 51,4% для водослива с высотой порога 0,07 м, углом боковых стенок водослива к его оси $\alpha = 30^\circ$ и заложением верхового откоса 2:1.

Ключевые слова: водоподпорные сооружения, наносы, полигональный водослив, классический водослив, мелиоративные каналы.

Цитирование. Хасан М., Кузнецов Е. В. Исследование водоподпорного сооружения для пропуска наносов на мелиоративных каналах. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 194-202. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-22.

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. Для забора воды на мелиоративных каналах используются гидротехнические сооружения, предназначенные для выполнения различных водохозяйственных задач, обеспечивая нужды отраслей народного хозяйства [1, 2]. К таким сооружениям относится достаточное разнообразие водоподпорных сооружений в виде водосливов. Применение классических водосливов на каналах для подпора уровней в верхнем бьефе не всегда удовлетворяет потребителей в качестве и количестве воды. Существующие конструкции подпорных сооруже-

ний негативно влияют на качество оросительной воды, где забираемая вода для нужд ирригации из каналов несет большое количество наносов, мусора, различных водорослей, шуги и льда, которые откладываются у порога водоподпорных сооружений, влияют на нормальную работу насосных станций и ирригационное оборудование, а также влияют на экологическое равновесие и плодородие почв и, следовательно, на урожайность [1, 3, 4, 6]. Поэтому для выбора конструкции водослива для рационального водопользования следует проводить вариантную проработку по ряду показателей: технологическим, геометрическим параметрам и пропускной способности водосливов.

Паводки в реках обычно происходят весной при сильных дождях, высоких температурах и таянии снега. В результате происходит значительное повышение уровня воды в мелиоративных каналах и скорости течения, что приводит к размыванию грунта дна и откосов каналов и отложению его перед порогом водосливов [5, 7, 8].

Отложение наносов в мелиоративных каналах перед порогом водосливов уменьшает их пропускную способность, снижает производительность насосных станций, возрастает дефицит водопотребления, оказывает большую нагрузку на насосные станции [3, 4, 9]. Таким образом, это приводит к значительным энергозатратам на перекачку поливной воды, снижению качества воды для орошения и ее эффективности. Могут возникнуть риски, когда наносы полностью перекроют водозаборные окна насосных станций, что потребует больших затрат труда и средств на очистку; дефицит воды на водозаборе приводит к потере урожая [10, 11, 12].

Используемые на мелиоративных каналах в настоящее время различные конструкции водоподпорных сооружений не всегда пропускают наносов. Для этого необходимо разработать такие конструкции водоподпорных сооружений, которые могли бы выполнять устойчивый стабильный забор воды в оросительные системы при её дефиците, беспрепятственный транспорт наносов через порог водосливов на мелиоративных каналах, обеспечивать рациональное использование водных ресурсов на водозаборах при эксплуатации мелиоративных систем [3, 6, 8, 9].

В связи с этим проведено лабораторное исследование на моделях полигональных водосливов практического профиля по выбору лучшей конструкции и сравнению полученных результатов с классическим водосливом по пропускной способности наносов через порог.

Материалы и методы. Опыты проведены в лаборатории кафедры гидравлики и с. х. водоснабжения КубГАУ, на стеклянном лотке длиной 4,4 м; высотой 0,3 м; шириной 0,17 м (рисунок 1). В лотке устанавливались поочередно модели водосливов.

Модели водосливов представляли собой водоподпорные сооружения в виде водосливов практического профиля полигонального очертания, которые были выполнены из гипса и покрыты 2 слоями краски, с различными углами боковых стенок к оси водослива: $\alpha=30^\circ$; 45° ; 60° . Классический водослив имел угол к оси потока 90° . На (рисунках 2 и 3) приведена схема исследования водосливов.

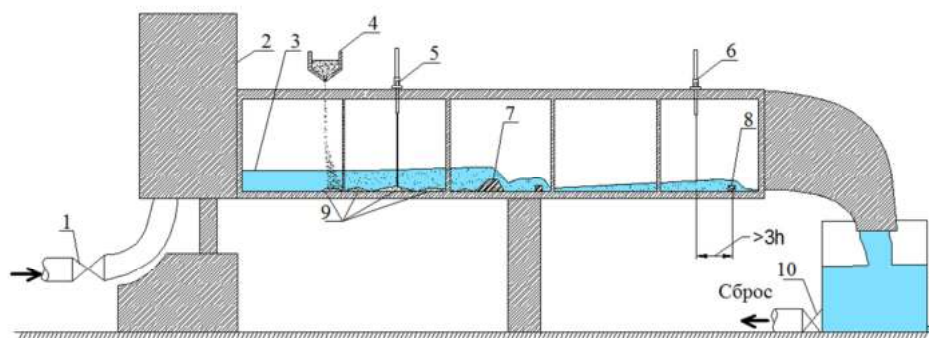


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

1 – затвор; 2 – емкость; 3 – вода; 4 – чаша для добавления песка; 5 – шпигетмасштаб для измерения высоты песчаных гряд и волн; 6 – шпигетмасштаб для измерения напора воды; 7 – водослив; 8 – водослив-водомер с тонкой стенкой; 9 – песчаные гряды и волны; 10 – задвижка

Figure 1 – The scheme of the experimental installation

1 – shutter; 2 – container; 3 – water; 4 – bowl for adding sand; 5 – scale for measuring the height of sand ridges and waves; 6 – scale for measuring water pressure; 7 – weir; 8 – weir-water meter with a thin wall; 9 – sand ridges and waves; 10 – gate valve

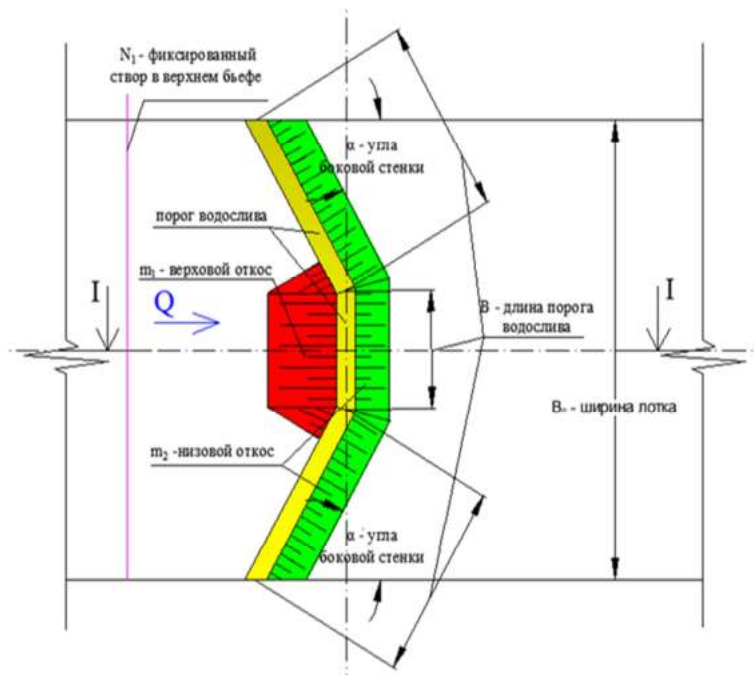


Рисунок 2 – Схема лабораторной модели полигонального водослива для углов боковых стенок (30° , 45° и 60°)

Figure 2 – Diagram of a polygonal weir for the angles of the side walls (30° , 45° and 60°)

При проведении опытов по пропуску наносов через порог полигонального водослива практического профиля особое внимание следует уделять моделированию параметров моделей водосливов для получения достоверных и надежных результатов. При моделировании по Фрудру получены параметры моделей близкие по масштабу к параметрам натурального сооружения на Новокубанском канале [3], где линейные масштабы были: горизонтальный 1:65 и вертикальный 1:10, что соответствовало высоте порога модели $P=0,07$ м и ширине водослива $L=0,02$ м.

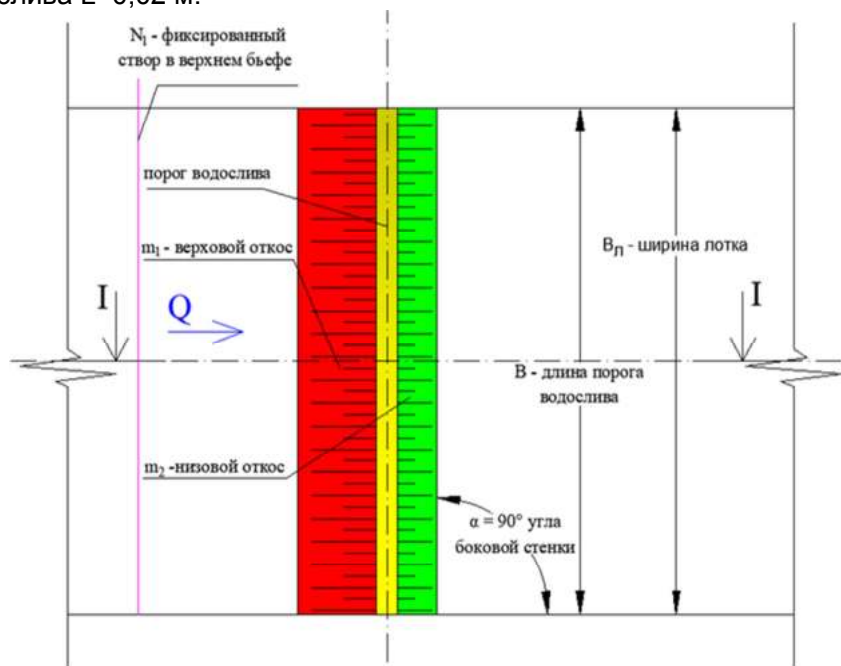


Рисунок 3 – Схема модели классического водослива при $\alpha=90^\circ$

Figure 3 – Diagram of the classic weir at $\alpha=90^\circ$

На (рисунке 4 а, б, в) показаны изучаемые модели с заложением верхового откоса ($m_1 = 0; 1:1$ и $2:1$) при постоянном заложении низового откоса ($m_2 = 1:2$)

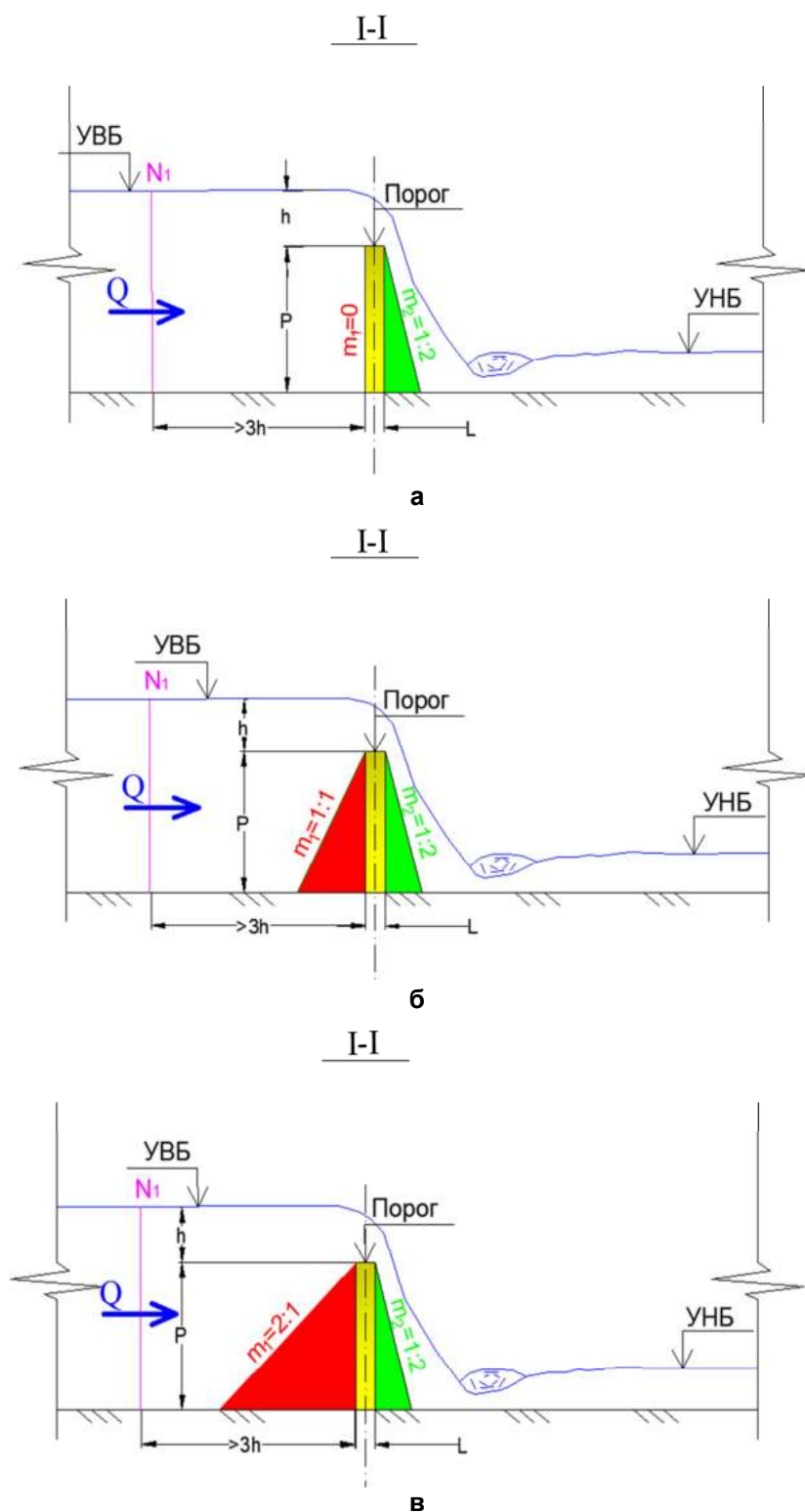


Рисунок 4 – Поперечное сечение водослива а – $m_1 = 0$; б – $m_1 = 1:1$; в – $m_1 = 2:1$
 N_1 – створ; h – напор воды; P – высота водослива; L – ширина порога водослива.

Figure 4 – Cross section of the weir а – $m_1 = 0$; б – $m_1 = 1:1$; в – $m_1 = 2:1$
 N_1 – the gate; h – the water pressure; P – threshold height; L – the width of the weir

При исследовании движения наносов через водосливы был принят песок, который транспортируется потоком и преобладает в донных отложениях Новокубанского мелиоративного канала. Диаметр фракции песка находился в диапазоне 0,10-0,25 мм. Температура воды была постоянной – 20°C. При этих условиях гидравлическая крупность наносов находится в диапазоне 0,00663-0,02602 м/с. Среднеарифметическая гидравлическая крупность песка в опытах составляла 0,016325 м/с [2, 4]. Каждый эксперимент выполнялся 30 минут. Вес исходного (добавленного в поток) песка в каждом опыте составлял $W_1=630$ г и был постоянным, при этом мутность потока находилась в диапазоне 35,2-603,4 г/м³, что отвечает мутности р. Кубань в районе канала. В поток перед порогом водослива на расстоянии 1 м добавлялся песок с постоянным весовым расходом 0,35 г/с. После завершения опыта собирали осажденный песок у порога водослива, сушили и взвешивали для определения веса осажденного песка W_2 . Вычислялся процент песка, прошедшего через полигональные водосливы для верхового откоса, – 0; 1:1 и 2:1 и углов боковых стенок к его оси $\alpha=30^\circ$, 45° , 60° и классический водослив 90° . Для определения процента песка, прошедшего через водосливы, использовали формулу:

$$П\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где П% – процент песка, прошедшего через водослив, %; W_1 – вес исходного песка, г; W_2 – вес осажденного песка, г.

Опыты выполнялись при напорах над порогом водосливов 1,3-7,3 см с шагом 1 см. Расход на установке изменялся в пределах $Q = 0,58 \cdot 10^{-3}$ - $9,94 \cdot 10^{-3}$ м³/с, средние скорости потока были в диапазоне 0,041-0,409 м/с [3].

Результаты и обсуждения. Опыты сравнились между собой для различных моделей водосливов. На графиках (рисунки 5, 6, 7) даны эмпирические зависимости процента песка, прошедшего через порог полигональных водосливов и классического водослива от средней скорости потока при изменении значений напора от 1,3 см до 7,3 см.

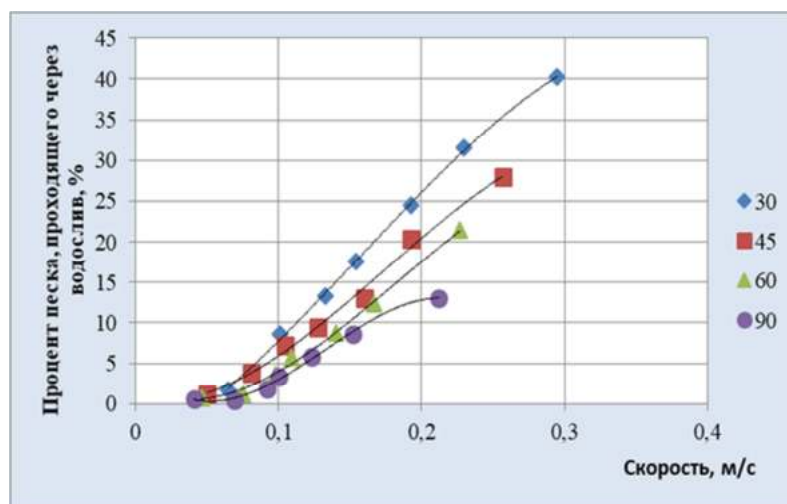


Рисунок 5 – Эмпирические зависимости $П\% = f(v, \alpha)$ для верхового откоса – 0 и $p=0,07$ м
Figure 5 – Empirical dependences $П\% = f(v, \alpha)$ for the upper slope – 0 and $p=0.07$ m

Установлено, что при заложении верхового откоса для полигональных водосливов – 0 и углов боковых стенок к его осям $\alpha=30^\circ$, 45° , 60° и классического водослива 90° (рисунок 5) при изменении средней скорости потока в диапазоне 0,065...0,295 м/с, 0,050...0,257 м/с, 0,046...0,227 м/с, и 0,041...0,212 м/с, соответственно, процент песка, прошедшего через водосливы, находится в диапазоне 1,7...40,2 %, 1,2...27,9 %, 0,8...21,4 % и 0,6...13,1 %, соответственно. Следовательно, при заложении верхового откоса 0 средний процент песка, проходящего через полигональные водосливы для углов боковых стенок водослива к его осям $\alpha=30^\circ$, 45° и 60° больше на 77,45 %, 63,1 % и 39,44 %, соответственно, по сравнению с классическим водосливом при том же угле заложении верхового откоса 0.

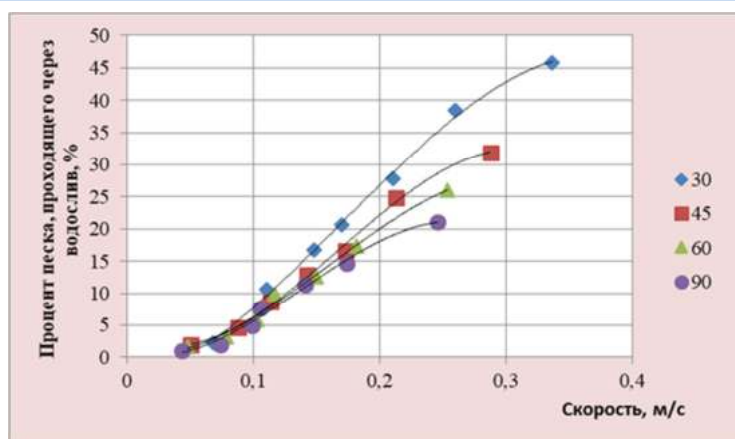


Рисунок 6 – Эмпирические зависимости $P\% = f(v, \alpha)$ для верхового откоса – 1:1 и $p=0,07$ м
Figure 6 – Empirical dependences $P\% = f(v, \alpha)$ for the upper slope – 1:1 and $p=0.07$ m

Для полигональных водосливов и классического водослива с заложением верхового откоса – 1:1 и углов боковых стенок к их оси $\alpha=30^\circ$, 45° , 60° и 90° (рисунок 6) получено, что при изменении средней скоростей потока в диапазоне 0,069...0,337 м/с, 0,051...0,288 м/с, 0,048...0,254 м/с и 0,044...0,246 м/с, соответственно, процент песка, прошедшего через водослив, находится в диапазоне 2,3...45,8%, 2,0...31,9%, 1,6...26,1% и 1,1...21,1%, соответственно. Таким образом, средний процент песка, проходящего через полигональные водосливы для углов боковых стенок к их осям $\alpha=30^\circ$, 45° и 60° больше на 63,29%, 42,1% и 22,02%, соответственно, по сравнению с классическим водосливом ($\alpha=90^\circ$).

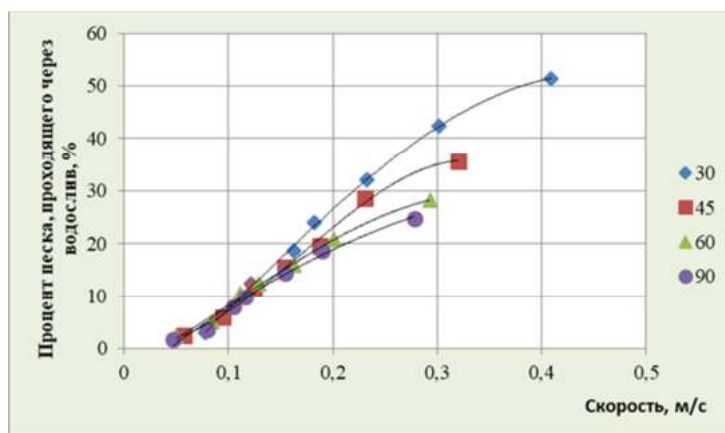


Рисунок 7 – Эмпирические зависимости $N\% = f(v, \alpha)$ для верхового откоса – 2:1 и $p=0,07$ м
Figure 7 – Empirical dependences $N\% = f(v, \alpha)$ for the upper slope – 2:1 and $p=0.07$ m

Для полигональных водосливов и классического водослива с заложением верхового откоса – 2:1 и углов боковых стенок к их осям $\alpha=30^\circ$, 45° , 60° и водослива 90° (рисунок 7) установлено, что при изменении средней скоростей потока в диапазоне 0,078...0,409 м/с, 0,057...0,32 м/с, 0,05...0,293 м/с и 0,047...0,278 м/с, соответственно, процент песка, проходящего через водосливы, находится в диапазоне 3,0...51,4 %, 2,5...35,6%, 2,2...28,2%, и 1,8...24,8%, соответственно. Следовательно, средний процент песка, проходящего через изучаемые водосливы при заложении верхового откоса 2:1 для углов боковых стенок к их осям $\alpha=30^\circ$, 45° и 60° больше на 55,64%, 32,31% и 17,54 %, соответственно, по сравнению с классическим водосливом ($\alpha=90^\circ$).

Из опытов можно сделать вывод о том, что процент песка, прошедшего через исследуемые водосливы, растёт от 0,6% до 51,4% с увеличением средней скоростей потока от 0,041 м/с до 0,409 м/с для всех моделей. Процент песка, прошедшего через полигональные водосливы практического профиля, больше по сравнению с классическим водосливом, что соответствует выводам Филиппова Е. Г. [3, 11].

Установлено, что процент песка, прошедшего через полигональные водосливы, увеличивается с уменьшением угла боковых стенок водосливов к их осям и увеличением заложения верхового откоса водослива, т.е. максимальный процент песка, проходящего через полигональные водосливы, получен у верхового откоса 2:1 и при боковых стенках водослива к его оси 30° , и составляет 51,4% (рисунок 7).

Заключение. Водоподпорные сооружения обеспечивают покрытие дефицита воды в каналах мелиоративных систем, которые следует уставить полигональными в плане в виде водосливов практического профиля с углами наклона верховой грани и углами боковых стенок к их осям $\alpha=30^\circ$, 45° , 60° для обеспечения пропуска наносов из верхнего бьефа в нижний.

Процент пропуска наносов зависит от заложения верхового откоса водослива, угла боковых стенок к их осям и средней скорости потока перед порогом полигональных водосливов. Установлено, что для $\alpha=30^\circ$, 45° и 60° и при верховом откосе – 0, процент песка, проходящего через полигональный водослив практического профиля находится в диапазоне 1,7...40,2%, 1,2...27,9% и 0,8...21,4%, соответственно, при верховом откосе – 1:1 были в диапазоне 2,3...45,8%, 2,0...31,9% и 1,6...26,1%, соответственно, и при верховом откосе – 2:1 в диапазоне 3,0...51,4%, 2,5...35,6% и 2,2...28,2%, соответственно, т.е. процент песка, проходящего через полигональный водослив практического профиля увеличивается с уменьшением угла боковых стенок к оси водослива и с увеличением заложения верхового откоса водослива.

Максимальный процент пропуска наносов установлен на полигональном водосливе практического профиля с верховым откосом 2:1 и при угле боковых стенок водослива к его оси 30° , который составляет 51,4%. Таким образом, данная модель полигонального водослива практического профиля повысит эффективность эксплуатации водозабора и обеспечит безопасную эксплуатацию гидротехнических сооружений, непосредственно влияющих на работу оросительных систем, следовательно, на урожай.

Conclusions. Water retaining structures provide coverage of water scarcity in the channels of irrigation systems, which should be installed polygonal in plan in the form of practical-profile weirs with angles of inclination of the upper slope and angles of the side walls to their axes $\alpha=30^\circ$, 45° , 60° to ensure the passage of sediments from the upper stream to the lower.

The percentage of sediment passage depends on the laying of the upper slope of the weir, the angle of the side walls to their axes and the average flow velocity before the threshold of the polygonal weirs. It was found that for $\alpha=30^\circ$, 45° and 60° and at the upper slope – 0, the percentage of sand passing through the polygonal weir of the practical profile is in the range of 1.7...40.2%, 1.2...27.9% and 0.8...21.4%, respectively, at the upper slope -1:1 were in the range of 2.3...45.8%, 2.0...31.9% and 1.6...26.1%, respectively, and at the upper slope of -2:1 in the range of 3.0...51.4%, 2.5...35.6% and 2.2...28.2%, respectively, i.e. the percentage of sand passing through the polygonal weir of the practical profile increases with a decrease in the angle of the side walls to the axis of the weir and with an increase in the laying of the upper slope of the weir.

The maximum percentage of sediment passage is established on a polygonal weir of a practical profile with a 2:1 upper slope and at an angle of the side walls of the weir to its axis of 30° , which is 51.4%. Thus, this model of a polygonal weir of a practical profile will increase the efficiency of water intake operation and ensure the safe operation of hydraulic structures that directly affect the operation of irrigation systems, therefore, the harvest.

Библиографический список

1. Арифжанов А. М., Самиев Л. Н., Абдураимова Д. А., Ахмедов И. Г. Ирригационное значение речных наносов. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018. № 4. С. 36-42.
2. Бандурин М. А., Солодунов А. А., Волосухин В. А. К вопросу организации мониторинга эксплуатационной надежности сооружений рисовых оросительных систем на юге России. Инженерный вестник Дона. 2019. № 7.
3. Кузнецов Е. В., Хасан М., Алматар А. Исследование коэффициента расхода при разных углах водосливных стенок к оси полигональных водосливов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 353-364.
4. Гладков Г. Л., Беляков П. В. Транспорт наносов в реках: зависимость параметров донных гряд от определяющих факторов. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2021. Т. 13. № 1. С. 52-63.
5. Калинин А. В. Кривые расходов малых водотоков при изменении формы транспорта наносов. Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. Т. 7. № 1. С. 1–13.
6. Наумова Т. В., Кушер А. М., Пикалова И. Ф. Повышение эффективности эксплуатационных мероприятий по снижению захвата наносов в водозаборы оросительных систем. Повышение эффективности эксплуатационных мероприятий по снижению захвата наносов в водозаборы оросительных систем. 2019. Т. 14. Выпуск 9. С. 1167-1179.
7. Рыжко Н. Ф., Хорин С. А., Ботов С. В. Снижение потребления электроэнергии на насосных станциях при поливе дождевальными машинами. Новости науки в АПК. 2018. № 2-2 (11). С. 379-382.

8. Спирин Ю. А. Влияние растительности на пропускную способность осушительного канала насосной станции польдера. Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. Т. 3. № 1. С. 24-30.
9. Наумова Т. В., Кушер А. М., Пикалова И. Ф. Эксплуатационные методы сокращения захвата донных наносов в водозаборы оросительных систем и проблемы их внедрения. Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 1. С. 20-25.
10. Сарсекеева Г. С., Утепбергенова Л. М., Абдукаликова Г. М. Допустимая антропогенная нагрузка на водные ресурсы. Евразийский Союз Ученых. 2019. С. 30-34.
11. Соловьев А. А., Соловьев Д. А., Шилова Л. А., Радиус сопряжения поверхности водослива практического профиля с водобоем. Вестник МГСУ. 2018 С. 885-891.
12. Kadiresan K., Khanal P.R. Rethinking irrigation for global food security. Irrigation and Drainage. 2018. Vol. 67. Issue 1. Pp. 8-11.

References

1. Arifzhanov A. M., Samiev L. N., Abduraimova D. A., Akhmedov I. G. Irrigation value of river sediments. Actual problems of the humanities and natural sciences. 2018. No. 4. Pp. 36-42.
2. Bandurin M. A., Solodunov A. A., Volosukhin V. A. On the issue of monitoring the operational reliability of rice irrigation systems in the south of Russia. Engineering Bulletin of the Don. 2019. № 7.
3. Kuznetsov E. V., Hasan M., Almatar A. Investigation of the flow coefficient at different angles of spillway walls to the axis of polygonal walls. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2022. № 2 (66). Pp. 353-364.
4. Gladkov G. L., Belyakov P. V. Sediment transport in rivers: dependence of bottom ridges parameters on determining factors. Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet. 2021. Volume 13. No. 1. Pp. 52-63.
5. Kalinin A. B. Flow curves of small watercourses when changing the shape of sediment transport. Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia. 2021. Vol. 7. No. 1. Pp. 1-13.
6. Naumova T. V., Kusher A. M., Pikalova I. F. Improving the efficiency of operational measures to reduce sediment capture in irrigation system intakes. Improving the efficiency of operational measures to reduce sediment uptake into irrigation system intakes. 2019. Volume 14. Issue 9. Pp. 1167-1179.
7. Ryzhko N. F., Khorin S. A., Botov S. V. Reduction of electricity consumption at pumping stations when watering with sprinkler machines. News of science in agriculture. 2018. № 2-2 (11). Pp. 379-382.
8. Spirin Yu. A. The influence of vegetation on the capacity of the drainage channel of the polder pumping station. Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia. 2017. Vol. 3. No. 1. Pp. 24-30.
9. Naumova T. V., Kusher A. M., Pikalova I. F. Operational methods for reducing the capture of bottom sediments in irrigation water intakes and problems of their implementation. Land reclamation and water management. 2017. No. 1. Pp. 20-25.
10. Sarsekeeva G. S., Utepbergenova L. M., Abdulkalikova G. M. Permissible anthropogenic load on water resources. Eurasian Union of Scientists. 2019. Pp. 30-34.
11. Solovyov A. A., Solovyov D. A., Shilova L. A., The radius of coupling of the surface of the practical profile spillway with the culvert. Bulletin of the MGSU. 2018 Pp. 885-891.
12. Kadiresan K., Khanal P. R. Rethinking irrigation for global food security. Irrigation and Drainage. 2018. Vol. 67. Issue 1. Pp. 8-11.

Информация об авторах

Хасан Марва, аспирант факультета гидромелиорации, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), e-mail: marwahasan444@gmail.com

Кузнецов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, кафедра строительства и эксплуатации ВХО, факультета гидромелиорации, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), e-mail: dtn-kuz@rambler.ru

Author's Information

Hasan Marwa, PHD of the Faculty of Hydromelioration, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina st., 13), e-mail: marwahasan444@gmail.com

Kuznetsov Evgeny Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Construction and Operation of the VHO, Faculty of Hydro-Reclamation, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina st., 13), e-mail: dtn-kuz@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-23

THE INFLUENCE OF BASIC TILLAGE TECHNIQUES ON THE YIELD AND GRAIN QUALITY OF WINTER WHEAT IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE CHECHEN REPUBLIC

Abdulaev S. S., Batukaev A. A.

*Chechen State University named after. A. A. Kadyrov
Grozny, Chechen Republic, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: Salakh1996@bk.ru

Received 7.03.2024

Submitted 20.04.2024

Summary

The article presents the results of assessing the influence of basic tillage techniques on the yield and grain quality of winter soft wheat. Research results have shown that basic tillage techniques have a significant impact on the productivity and grain quality of winter wheat. The most optimal method turned out to be chiseling to a depth of 0.28...0.30 m.

Abstract

Introduction. Relevance. Winter wheat is of great value and is one of the most important grain crops not only in Russia, but throughout the world. The yield of winter wheat depends very much on the method of primary tillage. A correctly selected, scientifically based method of basic tillage for this crop can significantly reduce economic and energy costs, as well as obtain consistently high yields. Therefore, solving this problem in the conditions of the forest-steppe zone of the Chechen Republic is relevant. The purpose of our research was to study the effect of various methods of basic tillage on the yield of winter wheat on leached chernozems of the Chechen Republic. **Object.** The object of research is winter wheat varieties and various basic tillage systems. **Materials and methods.** The studies were carried out at the experimental site of the Chechen Research Institute of Agriculture. The implementation of experiments and accompanying observations were carried out according to the methods of B. A. Dospiehov. and State testing of agricultural crops. **Results and conclusions.** The use of chiseling to a depth of 0.28...0.30 m as the main tillage method for winter wheat increases the yield of winter wheat by 0.77...1.11 t/ha compared to the control (moldboard plowing to a depth of 0.20...0.22 m); the maximum yield was noted for the Akhmat variety – 7.73 t/ha; the use of this technique also increases such parameters of grain quality as: grain nature, glassiness, protein and gluten content; To obtain high yields of high-quality winter wheat grain in the soil and climatic conditions of the Chechen Republic, it is necessary to grow the varieties Akhmat, Yuzhanka, Graf and use chiseling to a depth of 0.28...0.30 m as the main tillage method., Yuzhanka, Graf and use chiseling to a depth of 0.28...0.30 m as the main tillage method.

Keywords: varieties of winter wheat, yield of winter wheat, quality of wheat grain, methods of tillage, basic tillage.

Citation. Abdulaev S. S., Batukaev A. A. The influence of basic tillage techniques on the yield and grain quality of winter wheat in the forest-steppe zone of the Chechen Republic. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 202-209 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-23.

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 633.51.01:633.11

ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Абдулаев С. С., ассистент

Батукаев А. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова
г. Грозный, Чеченская Республика, Российская Федерация

Актуальность. Озимая пшеница обладает большой ценностью и является одной из самых значимых зерновых культур не только в России, но и во всем мире. Урожайность озимой пшеницы очень сильно зависит от способа основной обработки почвы. Правильно подобранный, научно обоснованный способ основной обработки почвы под эту культуру позволяет значительно снизить экономические и энергетические затраты, а также получить стабильно высокие урожаи. Поэтому решение этой проблемы в условиях лесостепной зоны Чеченской Республики актуально. Целью наших исследований являлось изучить влияние различных приемов основной обработки почвы на урожайность озимой пшеницы на выщелоченных черноземах Чеченской Республики. Объектом исследований являются сорта озимой пшеницы и различные системы основной обработки почвы. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном участке Чеченского НИИСХ. Закладка опытов и сопутствующие наблюдения проведены согласно методикам Доспехова Б. А. и Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур. **Результаты и выводы.** Применение в качестве приема основной обработки почвы под озимую пшеницу чизелевания на глубину 0,28...0,30 м увеличивает урожайность озимой пшеницы на 0,77...1,11 т/га по сравнению с контролем (отвальная вспашка на глубину 0,20...0,22 м); максимальная урожайность отмечена у сорта Ахмат – 7,73 т/га; использование этого приема также увеличивает такие параметры качества зерна, как: натура зерна, стекловидность, содержание белка и клейковины; для получения высоких урожаев качественного зерна озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Чеченской Республики необходимо выращивать сорта Ахмат, Южанка, Граф и использовать в качестве приема основной обработки почвы чизелевание на глубину 0,28...0,30 м.

Ключевые слова: сорта озимой пшеницы, урожайность озимой пшеницы, качество зерна пшеницы, способы обработки почвы, основная обработка почвы.

Цитирование. Абдулаев С. С., Батукаев А. А. Влияние приемов основной обработки почвы на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в лесостепной зоне Чеченской Республики. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 202-209. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-23.

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 южных регионах нашей страны озимую пшеницу возделывают традиционно. Эта культура обладает большой ценностью и является одной из самых значимых зерновых культур не только в России, но и во всем мире [1].

Для получения высоких урожаев озимой пшеницы необходимо учитывать конкретные природно-климатические условия зоны возделывания культуры, использовать районированные сорта, применять ресурсосберегающие и адаптивные технологии возделывания [2, 3]. Важными элементами технологии возделывания озимой пшеницы являются научно-обоснованные системы обработки почвы и применение удобрений, однако мнения различных исследователей пересекаются не всегда [4-7]. На сегодняшний день не все аграрии могут себе позволить масштабное применение минеральных удобрений, поэтому на первый план выходит оптимизация приемов основной обработки почвы [8-11]. Урожайность озимой пшеницы в значительной степени зависит от способа основной обработки почвы. Правильно подобранный, научно-обоснованный способ основной обработки почвы под эту культуру позволяет значительно снизить экономические и энергетические затраты, а также получить стабильно высокие урожаи [12-14].

Основная обработка почвы под озимую пшеницу должна решать следующие задачи: сохранение и накопление влаги в почве, очистка почвы от сорняков и уничтожение возбудителей болезней. Также приемы основной обработки почвы должны создавать благоприятные условия для роста и развития озимой пшеницы [15, 16]. Поэтому решение этих задач в условиях лесостепной зоны Чеченской Республики является актуальным.

Целью наших исследований являлась изучение влияния различных приемов основной обработки почвы на урожайность озимой пшеницы на выщелоченных черноземах Чеченской Республики.

Материалы и методы. Для выполнения поставленной задачи нами на полях Чеченского НИИСХ в 2020 году был заложен полевой двухфакторный опыт. Он закладывался методом расщепленных делянок.

Фактор А (основная обработка почвы):

- отвальная вспашка плугом ПГВ-5 на глубину 0,20...0,22 м (контроль);
- дискование БДТ-3 на глубину 0,10...0,12 м;
- чизелевание ПЧ-2,5 на глубину 0,28...0,30 м.

Фактор В (сорта):

Васса st. (контроль); Ахмат; Южанка; Граф.

Повторность опыта трехкратная. Общая площадь под опытом – 10500 м² (1,05 га). Под каждым вариантом опыта занято 1600,0 м². Закладка опыта и исследования проводились по методике Б. А. Доспехова, 1979 г, Г. Ф. Никитенко, 1982 г, Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1985. Почва опытного участка чернозем выщелоченный. Реакция почвенного раствора слабощелочная, что благоприятно для роста и развития озимой пшеницы. Содержание гумуса – 2,8...3,5%, средне обеспечена подвижным фосфором – 55 мг/кг и высоко калием – 452 мг/кг.

Результаты и обсуждение. Анализ полученных трехлетних данных показывает, что способы основной обработки оказали существенное влияние на урожайность озимой пшеницы (рисунок 1).

Самые низкие показатели урожайности были отмечены на варианте опыта с применением дискования орудием БДТ-3 на глубину 0,10...0,12 м и варьировали от 4,92 т/га у сорта Васса до 5,84 т/га у сорта Ахмат. В среднем по сортам урожайность на варианте с дискованием была ниже на 1,05 т/га по сравнению с контролем (отвальная вспашка на глубину 0,20...0,22 м).

Самые высокие показатели были в варианте с использованием в качестве приема основной обработки почвы чизелевания на глубину 0,28...0,30 м. Превосходство по сравнению контрольным вариантом составило в среднем по сортам 1,02 т/га. Превосходство над вариантом с дискованием составило 1,98 т/га.

Наиболее урожайным оказался сорт Ахмат. На всех вариантах опыта его урожайность была самой высокой и превысила тот же показатель у сорта Васса (стандарт) в среднем по вариантам на 0,96 т/га. Урожайность сортов озимой пшеницы Южанка и Граф превысила урожайность стандарта в среднем на 0,36 и 0,46 т/га, соответственно.

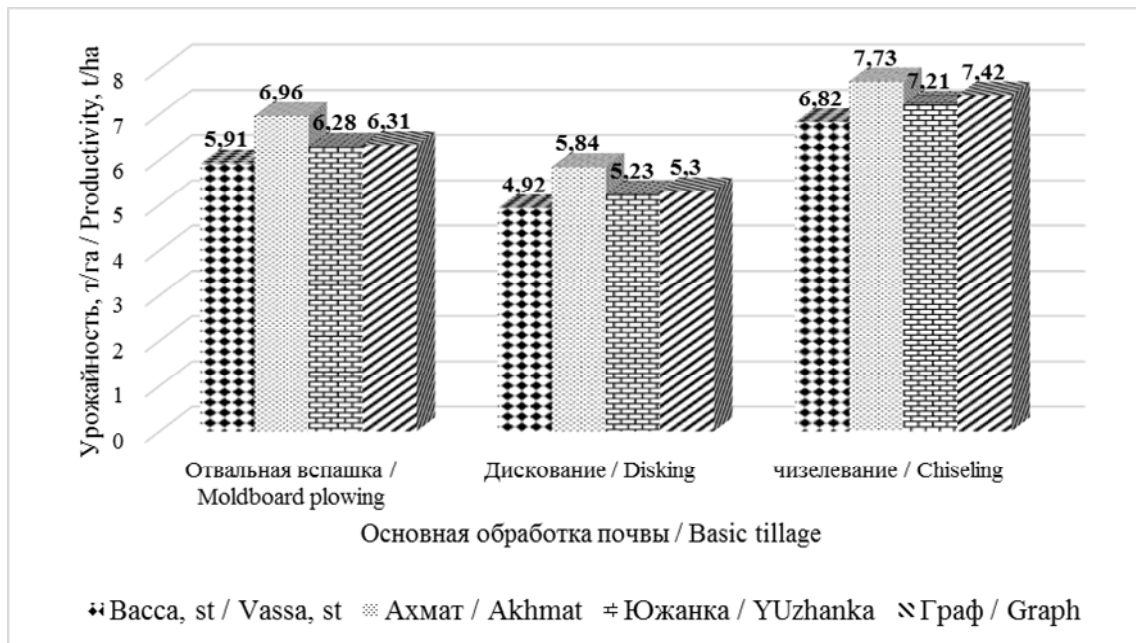


Рисунок 1 – Урожайность озимой пшеницы по вариантам опыта, среднее 2021...2023 гг.
Figure 1 – Winter wheat yield according to experimental options, average 2021...2023

В процессе исследований нами была проведена оценка качественных показателей зерна озимой пшеницы (таблица 1). Как видно из полученных данных, приемы основной обработки почвы оказали значительное влияние на такие показатели, как натура зерна, стекловидность, содержание белка и клейковины.

Таблица 1 – Качество зерна озимой пшеницы по вариантам опыта, среднее 2021...2023 гг.
Table 1 – Quality of winter wheat grain according to experimental options, average 2021...2023

Основная обработка почвы / Basic tillage	Сорт / Variety	Натура зерна, г/л / Grain nature, g/l	Стекловидность, % / Glassiness, %	Белок, % / Protein, %	Клейковина, % / Gluten, %
Отвальная вспашка / Moldboard plowing	Васса, ст / Vassa, st	776,0	64,0	13,5	35,5
	Ахмат / Akhmat	777,0	64,3	13,6	35,9
	Южанка / Yuzhanka	775,3	64,7	13,6	35,6
	Граф / Graph	776,3	63,9	13,6	35,6
Дискование / Disking	Васса, ст / Vassa, st	761,3	56,6	10,6	30,0
	Ахмат / Akhmat	762,3	56,9	10,9	30,0
	Южанка / Yuzhanka	761,3	56,5	10,6	30,0
	Граф / Graph	762,7	56,6	10,6	29,9
Чизелевание / Chiseling	Васса, ст / Vassa, st	782,0	67,4	14,9	37,9
	Ахмат / Akhmat	783,7	67,6	15,0	38,0
	Южанка / Yuzhanka	782,0	67,2	14,8	37,8
	Граф / Graph	781,0	67,4	14,8	37,9

На международном рынке одним из самых распространенных показателей качественного зерна является натура зерна (объемная масса 1 литра зерна). Высокие значения этого показателя означают, что зерно хорошо развито и выполнено в целом [17, 18].

В среднем по сортам натура зерна в контрольном варианте (отвальная вспашка) составила 776,2 г/л, в варианте с дискованием натура зерна была ниже контроля на 14,3 г/л – 761,9 г/л. В варианте опыта с чизелеванием натура зерна составила в среднем 782,2 г/л, что на 6,0 г/л выше контроля. Самые высокие значения этого показателя отмечены на варианте с чизелеванием и варьировали в диапазоне от 781,0 г/л у сорта Граф до 783,7 г/л у сорта Ахмат.

Стекловидность является важным показателем качества зерна пшеницы. В зерне, обладающем большей стекловидностью, чаще всего более высокое содержание белка по сравнению с мучнистым зерном. Также оно имеет более высокий выход муки и является более ценным в хлебопечении и при производстве макаронных изделий [17, 18]. Наши исследования показали, что применение при проведении основной обработки почвы под озимую пшеницу такого приема, как чизелевание, увеличивает стекловидность зерна в среднем по сортам на 5,0% по сравнению с контролем (отвальная вспашка) и на 18,9% по сравнению с вариантом опыта, где применяется дискование. Зерно всех изучаемых сортов относится к III группе – высокостекловидное. Наиболее высокие значения этого показателя отмечены у сорта Ахмат – 67,6% на варианте с применением чизелевания.

Содержание белка в зерне также было выше на варианте с применением чизелевания. У всех изучаемых сортов озимой пшеницы на этом варианте основной обработки почвы содержание белка в зерне превысило 14,0% и варьировало от 14,8% у сортов Южанка и Граф до 15,0 % у сорта Ахмат. Минимальные значения этого показателя были отмечены на варианте с дискованием и колебались в пределах 10,6...10,9%.

Такой показатель качества зерна, как клейковина, указывает на его хлебопекарные качества. В соответствии с ГОСТ 9353-90 содержание клейковины в зерне мягкой пшеницы 35% и более соответствует высшему классу продовольственного зерна; 32% – 1-му классу. Трехлетние исследования показали, что в контрольном варианте и варианте с применением чизелевания, зерно можно отнести к высшему классу продовольственного зерна – количество клейковины варьирует по сортам в пределах 35,5...35,9% в контрольном варианте и 37,8...38,0 % в варианте с применением чизелевания. Зерно, полученное на варианте с применением дискования можно отнести только ко 2-му классу.

Многие ученые отмечают, что приемы основной обработки почвы оказывают большое влияние на продуктивность озимой пшеницы. Так, минимизация основной обработки приводит к понижению водопроницаемости почвы, увеличивает плотность корнеобитаемого слоя, ухудшает фитосанитарную ситуацию в посевах озимой пшеницы. Отвальная вспашка тоже имеет свои минусы – разрушение почвенной структуры, ухудшение водно-физических свойств почвы, понижает почвенное плодородие. В связи с этим многие исследователи стараются разработать почвозащитные безотвальные системы основной обработки почвы. Но рыхление на малую глубину часто приводит к снижению урожайности. Исследования ученых из Ставропольского НИИСХ и Ставропольского ГАУ показывают, что такой прием основной обработки почвы, как дискование на глубину 0,10...0,12 м, снижает урожайность озимой пшеницы на 8,5% или 0,29 т/га по сравнению с контролем (отвальной вспашкой) [19]. В эксперименте Нитченко Л. Б. и Лукьянова В. А. было установлено, что на участках опыта, где применялась отвальная вспашка почвы, урожайность озимой пшеницы составила 3,77 т/га, а при использовании безотвальной обработки урожайность зерна снизилась до 3,74 т/га [20].

Наши исследования показывают, что приемы основной обработки почвы оказывают существенное влияние на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы. Наиболее оптимальным способом оказался прием чизелевания на глубину 0,28...0,30 м.

По результатам трехлетних исследований можно сделать следующие выводы:

- применение в качестве приема основной обработки почвы под озимую пшеницу чизелевания на глубину 0,28...0,30 м увеличивает урожайность озимой пшеницы на 0,77...1,11 т/га по сравнению с контролем (отвальная вспашка на глубину 0,20...0,22 м); максимальная урожайность отмечена у сорта Ахмат – 7,73 т/га.

- использование этого приема также увеличивает такие параметры качества зерна, как натура зерна, стекловидность, содержание белка и клейковины;

- самые высокие значения всех показателей качества на всех вариантах опыта отмечены у сорта Ахмат: натура зерна – 762,3...783,7 г/л, стекловидность – 56,9...67,6%, содержание белка – 10,9...15,0%, клейковина – 30,0...38,0%;

- применение в качестве приема основной обработки почвы дискования на глубину 0,10...0,12 м оказалось неэффективным, и у всех изучаемых сортов в этом варианте была и зафиксирована самая низкая урожайность и низкие показатели качества зерна;

- для получения высоких урожаев качественного зерна озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Чеченской Республики необходимо возделывать сорта Ахмат, Южанка, Граф и использовать в качестве приема основной обработки почвы чизелевание на глубину 0,28...0,30 м.

Conclusions. The use of chiseling to a depth of 0.28...0.30 m as the main tillage method for winter wheat increases the yield of winter wheat by 0.77...1.11 t/ha compared to the control (moldboard plowing to a depth of 0.20... 0.22 m); the maximum yield was noted for the Akhmat variety – 7,73 t/ha;

- the use of this technique also increases such grain quality parameters as: grain nature, glassiness, protein and gluten content;

- the highest values of all quality indicators in all variants of the experiment were noted for the Akhmat variety: grain nature – 762.3...783.7 g/l, glassiness – 56.9...67.6%, protein content – 10.9...15.0%, gluten – 30.0...38.0%;

- the use of disking to a depth of 0.10...0.12 m as the main tillage method turned out to be ineffective and for all studied varieties this option had the lowest yield and low grain quality indicators;

- to obtain high yields of high-quality winter wheat grain in the soil and climatic conditions of the Chechen Republic, it is necessary to grow the varieties Akhmat, Yuzhanka, Graf and use chiseling to a depth of 0.28...0.30 m as the main tillage method.

Библиографический список

1. Филенко Г. А., Фирсова Т. И., Марченко Д. М. Посевная площадь и урожайность озимой пшеницы. Аграрный вестник Урала. 2016. № 6 (148). С. 61-69.
2. Лобков В. Т., Золотухин А. И., Потаракин С. В. Сравнительная эффективность различных способов основной обработки почвы под озимую пшеницу в условиях Орловской области. Вестник аграрной науки. 2017. № 6 (69). С. 60-64.
3. Шабалкин А. В., Иванова О. М., Воронцов В. А., Скорочкин Ю. П. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от способов подготовки пара и средств интенсификации. Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 2. С. 52-55.
4. Дубовик Д. В., Лазарев В. И., Айдиев А. Я. и др. Эффективность различных способов основной обработки почвы и прямого посева при возделывании озимой пшеницы на черноземных почвах. Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 2. С. 26–29.
5. Mühlbachova G., Ruzek P., Kusá H., Vavera R., Kas M. Winter wheat straw decomposition under different nitrogen fertilizers. Agriculture. 2021. V. 11. № 2. P. 83.
6. Gimbatov A. S., Muslimov M. G., Ismailov A. B., Alimirzaeva G. A., Omarova E. K. The role of mineral fertilizer in increasing the productivity and quality of winter wheat grain. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. V. 7. № 5. Pp. 1304-1310.
7. Tyutyunov S., Solntsev P., Stupakov A., Kulikova M., Khalaf A. D. H. Agroecological justification of winter wheat fertilization systems in the south-west of the Central Black-soil Region. 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020. 2020. V. 175 (2). P. 07005.
8. Воронин А. Н., Никитин В. В., Соловichenko В. Д., Мельников В. И. Влияние структуры севооборота, способа основной обработки почвы и удобрений на продуктивность озимой пшеницы в Центрально-Черноземном регионе. Агрохимия. 2016. № 5. С. 21-27.
9. Korostylev S., Esaulko A., Ozheredova A., Gromova N., Grechishkina Y. Influence of tillage methods on optimization of nutrition, yield and filling grain of winter wheat on leached chernozem. Engineering for Rural Development. 2019. № 198. Pp. 379-385.
10. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. Agriculture. 2020. V. 10. № 9. Pp. 1-12.
11. Кравченко Р. В., Лучинский С. И., Архипенко А. А., Семенов А. Е. Влияние основной обработки почвы под озимую пшеницу на формирование элементов ее продуктивности. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 90. С. 64-70.
12. Тютюнов С. И., Солнцев П. И., Хорошилова Ю. В., Емец М. В., Горохова Ж. Ю. Влияние приемов основной обработки почвы, удобрений и средств защиты растений на продуктивность озимой пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 5. С. 18-23.
13. Кузыченко Ю. А. Эффективность систем основной обработки почвы под культуры полевого звена севооборота в Центральном Предкавказье. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (71). С. 28-31.
14. Турусов В. И., Гармашов В. М., Дронова Н. В. Эффективность систем обработки почвы и средств интенсификации при возделывании озимой пшеницы в условиях ЦЧЗ. Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 7. С. 68-70.

15. Передериева В. М., Власова О. И., Дорошко Г. Р., Вольтерс И. А., Трубачева Л. В. Влияние многолетнего использования различных способов основной обработки почвы под озимую пшеницу на сорный компонент агрофитоценоза. Земледелие. № 6. 2023. С. 29-32.
16. Азизов З. М., Архипов В. В., Имашев И. Г. Ресурсосберегающие системы основной обработки почвы в 4-польном зернопаровом севообороте засушливой чернозёмной степи Поволжья. Земледелие. 2022. № 4. С. 12-17.
17. Кулеватова Т. Б., Андреева Л. В., Кайргалиев Д. В., Лихолетов В. А. О качестве зерна озимой пшеницы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4 (36). С. 80-84.
18. Кулеватова Т. Б., Лящева С. В., Злобина Л. Н., Старичкова Н. И. К качеству зерна озимой пшеницы. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21. Вып. 1. С. 78-86.
19. Кузыченко Ю. А., Кулинцев В. В., Кобозев А. К. Эффективность обработки почвы в севооборотах на различных типах почв Центрального Предкавказья. Земледелие. 2017. № 4. С. 19-21.
20. Нитченко Л. Б., Лукьянов В. А. Эффективность основной обработки почвы и доз удобрений при возделывании озимой пшеницы на черноземе типичном. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4 (56). С. 40-45.

References

1. Filenko G. A., Firsova T. I., Marchenko D. M. Sown Area and Yield of Winter Wheat. Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 6 (148). Pp. 61-69.
2. Lobkov V. T., Zolotukhin A. I., Potarakin S. V. Comparative Efficiency of Various Methods of Basic Soil Cultivation for Winter Wheat in the Oryol Region. Bulletin of Agrarian Science. 2017. № 6 (69). Pp. 60-64.
3. Shabalkin A. V., Ivanova O. M., Vorontsov V. A., Skorochkin Yu. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2019. V. 33. № 2. Pp. 52-55.
4. Dubovik D. V., Lazarev V. I., Aidiev A. Ya., et al. Efficacy of Various Methods of Basic Soil Cultivation and Direct Sowing in the Cultivation of Winter Wheat on Chernozem Soils. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2019. V. 33. № 2. Pp. 26-29.
5. Mühlbachova G., Ruzek P., Kusá H., Vavera R., Kas M. Winter wheat straw decomposition under different nitrogen fertilizers. Agriculture. 2021. V. 11. № 2. P. 83.
6. Gimbatov A. S., Muslimov M. G., Ismailov A. B., Alimirzaeva G. A., Omarova E. K. The role of mineral fertilizer in increasing the productivity and quality of winter wheat grain. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. V. 7. № 5. Pp. 1304-1310.
7. Tyutyunov S., Solntsev P., Stupakov A., Kulikova M., Khalaf A. D. H. Agroecological justification of winter wheat fertilization systems in the south-west of the Central Black-soil Region. 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020. 2020. V. 175 (2). P. 07005.
8. Voronin A. N., Nikitin V. V., Solovichenko V. D., Melnikov V. I. Influence of Crop Rotation Structure, Method of Basic Tillage and Fertilizers on Winter Wheat Productivity in the Central Black Earth Region. Agrochemistry. 2016. № 5. Pp. 21-27.
9. Korostylev S., Esaulko A., Ozheredova A., Gromova N., Grechishkina Y. Influence of tillage methods on optimization of nutrition, yield and filling grain of winter wheat on leached chernozem. Engineering for Rural Development. 2019. № 198. Pp. 379-385.
10. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. Agriculture. 2020. V. 10. № 9. Pp. 1-12.
11. Kravchenko R. V., Luchinsky S. I., Arkhipenko A. A., Semenov A. E. Influence of Basic Tillage for Winter Wheat on the Formation of Elements of Its Productivity. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2021. № 90. Pp. 64-70.
12. Tyutyunov S. I., Solntsev P. I., Khoroshilova Y. V., Yemets M. V., Gorokhova Zh. Y. Influence of Methods of Basic Tillage, Fertilizers and Plant Protection Products on the Productivity of Winter Wheat. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2020. V. 34. № 5. Pp. 18-23.
13. Kuzychenko Y. A. Efficiency of Basic Soil Cultivation Systems for Crops of the Field Link of Crop Rotation in the Central Ciscaucasia. Proceedings of the Orenburg state agrarian university. 2018. № 3 (71). Pp. 28-31.
14. Turusov V. I., Garmashov V. M., Dronova N. V. Efficiency of Soil Cultivation Systems and Means of Intensification in the Cultivation of Winter Wheat in the Conditions of the Central Black Sea Zone. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. V. 29. № 7. Pp. 68-70.
15. Peredereva V. M., Vlasova O. I., Dorozhko G. R., Wolters I. A., Trubacheva L. V. Influence of Long-Term Use of Various Methods of Basic Tillage for Winter Wheat on the Weed Component of Agrophytocenosis. Agriculture. № 6. 2023. Pp. 29-32.
16. Azizov Z. M., Arkhipov V. V., Imashev I. G. Resource-saving systems of basic soil cultivation in a 4-field grain-fallow crop rotation of the arid chernozem steppe of the Volga region. Agriculture. 2022. № 4. Pp. 12-17.
17. Kulevatova T. B., Andreeva L. V., Kairgaliev D. V., Likholeto V. A. On the quality of winter wheat grain. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2014. № 4 (36). Pp. 80-84.
18. Kulevatova T. B., Lyashcheva S. V., Zlobina L. N., Starichkova N. I. On the Quality of Winter Wheat Grain. Izvestiya Saratovskogo universiteta. New series. Chemistry Series. Biology. Ecology. 2021. V. 21. I. 1. Pp. 78-86.
19. Kuzychenko Y. A., Kulintsev V. V., Kobozov A. K. Efficiency of Soil Cultivation in Crop Rotations on Different Types of Soils in the Central Ciscaucasia. Agriculture. 2017. № 4. Pp. 19-21.
20. Nitchenko L. B., Lukyanov V. A. Efficiency of Basic Soil Cultivation and Fertilizer Doses in Winter Wheat Cultivation on Typical Chernozem. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. № 4 (56). Pp. 40-45.

Информация об авторах

Абдулаев Салах Султанович, аспирант Чеченского государственного университета им. А. А. Кадырова (Российская Федерация, 364024, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. А. Шерипова, д. 32), ORCID: 0000-0002-8649-2047, e-mail: Salakh1996@bk.ru

Батукаев Абдулмалик Абдулхамидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры плодовоощеводства и виноградарства Чеченского государственного университета им. А. А. Кадырова (Российская Федерация, 364024, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. А. Шерипова, д. 32), ORCID: 0000-0002-8649-2047, e-mail: batukaevmalik@mail.ru

Author's Information

Abdulaev Salakh Sultanovich, postgraduate student, Chechen State University named after A. A. Kadyrov (Russian Federation, 364024, Chechen Republic, Grozny, A. Sheripov St., 32), ORCID: 0000-0002-8649-2047, e-mail: Salakh1996@bk.ru

Batukaev Abdulmalik Abdulkhamidovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Horticulture and Viticulture of the Chechen State University named after A. A. Kadyrov (Russian Federation, 364024, Chechen Republic, Grozny, A. Sheripov St., 32), e-mail: batukaevmalik@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-24

MAPPING THE CURRENT STATE AND STRUCTURE OF AGROFORTEST LANDSCAPES IN THE SOUTH-EAST OF THE ROSTOV REGION USING REMOTE SENSING DATA

Matveev Sh.

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

Corresponding author E-mail: matveev-sh@vifanc.ru

Received 20.12.2023

Submitted 02.04.2024

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences No. FNFE-2024-0008 "Mathematical modeling and forecasting of deflation processes of agricultural lands under technogenic and natural impacts at the current level of forest reclamation protection"

Summary

The article presents the identification of the current state and structure of agroforestry landscapes on the territory of the Remontnensky district of the Rostov region. Using the expert method of deciphering remote sensing data, areas of arable land, fallow lands and protective forest plantations were identified. Their spatial analysis was carried out and their current state was revealed.

Abstract

Introduction. The state of agroforestry landscapes is largely determined by the degree of degradation of their components, including soils and protective forest plantations. In this regard, a modern determination of the characteristics of the components of agricultural landscapes is necessary, since the productivity of agricultural land depends on their condition. Forest plantations in agroforestry landscapes play the role of protecting soils from degradation and increasing the productivity of agricultural products. **Object.** The object of the study was agricultural land and protective forest plantings in the Remontnensky district of the Rostov region. **Materials and methods.** Identification of the current state and structure of agroforestry landscapes in the study area is based on the methodology of using geoinformation technologies for spatial analysis of the state of landscapes using earth remote sensing data. The research was carried out based on survey data from the Sentinel-2 and Landsat-5 satellites. Data visualization and calculation of geomorphological and morphometric characteristics were carried out using the QGIS 3.32 geoinformation software package, which allows you to create cartographic layers for constructing digital maps. When developing a local GIS of agricultural land in the Remontnensky district, OSM data and a developed vector soil map of the Rostov region M 1:500,000 were used. To identify the geomorphological and morphometric characteristics of agroforestry landscapes, raster images of the land cover were used – a digital terrain model SRTM-1. Using the NDVI vegetation index, the safety of protective forest plantations was calculated. **Results and conclusions.** As a result of the study, all contours of agroforestry landscapes within the boundaries of the selected municipal area were identified. 1,565 plots of cultivated arable land with an area of 180 thousand hectares and 91 plots of fallow areas with an area of 9 thousand hectares have been identified. A geomorphological and morphometric analysis of the contours of these agricultural lands was carried out using geoinformation tools. Analysis of these data allows us to conclude that most agricultural fields used for agricultural production have an average slope steepness of no more than 2°, which indicates a low level of occurrence of water erosion. The safety of each designated forest belt on the territory of the administrative district was calculated. The overall safety in the area is 8%. This indicates that it is necessary to carry out phytomeliorative measures in the area to improve the condition of protective forest plantations. For each of the presented indicators, corresponding maps were compiled, reflecting the spatial distribution of agroforestry landscape parameters.

Keywords: GIS-technologies, mapping of agro-forest landscapes, remote sensing of lands, agro-forest landscapes, Rostov region.

Citation. Matveev Sh. Mapping the current state and structure of agroforestry landscapes in the south-east of the Rostov region using remote sensing data. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 209-216 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-24.

Author's contribution. The author of this study was directly involved in the design, execution, or analysis of this study. The author of this article has reviewed and approved the final version submitted.

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

УДК 630*1:528.9:621.372.8

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И СТРУКТУРЫ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ ЮГО-ВОСТОКА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Матвеев Ш., лаборант-исследователь

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

Работа выполнена в рамках Госзадания ФНЦ агроэкологии РАН № FNFE-2024-0008
«Математическое моделирование и прогнозирование процессов дефляции земель
сельскохозяйственного назначения при техногенных и природных воздействиях на современном
уровне лесомелиоративной защищенности»

Актуальность. Состояние агролесоландшафтов во многом определяется степенью деградации их составляющих, в том числе почв и защитных лесных насаждений. В связи с этим необходимо современное определение характеристик компонентов агроландшафтов, так как от их состояния зависит продуктивность сельскохозяйственных угодий. Лесные насаждения в агролесоландшафтах выполняют роль защиты почв от деградации и увеличивают продуктивность сельскохозяйственной продукции. **Объект.** Объектом исследования являлись сельскохозяйственные угодья и защитные лесные насаждения на территории Ремонтненского района Ростовской области. **Материалы и методы.** Выявление современного состояния и структуры агролесоландшафтов на территории исследования основаны на методике применения геоинформационных технологий для пространственного анализа состояния ландшафтов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Исследования проводилось на основе данных съемки спутников Sentinel-2 и Landsat-5. Визуализация данных и расчет геоморфологических и морфометрических характеристик проведены с использованием геоинформационного программного комплекса QGIS 3.32, который позволяет создавать картографические слои для построения цифровых карт. При разработке локальной ГИС сельскохозяйственных угодий Ремонтненского района были использованы данные OSM и разработанная векторная почвенная карта Ростовской области М 1:500 000. Для выявления геоморфологических и морфометрических характеристик агролесоландшафтов использовались растровые изображения земного покрова – цифровая модель местности SRTM-1. С использованием вегетационного индекса NDVI была рассчитана сохранность защитных лесных насаждений. **Результаты и выводы.** В результате исследования были выделены все контуры агролесоландшафтов в пределах границ выбранного муниципального района. Определены 1565 участка обрабатываемой пашни, площадью 180 тыс. га, и 91 участок залежных территорий, площадью 9 тыс. га. Был проведен геоморфологический и морфометрический анализ контуров данных сельскохозяйственных угодий с помощью геоинформационных инструментов. Анализ этих данных позволяет сделать вывод, что большинство сельскохозяйственных полей, используемых для производства сельскохозяйственной продукции, имеет среднюю крутизну склона, не превышающую 2°, что свидетельствует о низком уровне возникновения проявления водной эрозии. Была рассчитана сохранность каждой выделенной лесополосы на территории административного района. Общая сохранность на территории района составляет 8%. Это свидетельствует о том, что на территории района необходимо проводить фитомелиоративные мероприятия для улучшения состояния защитных лесных насаждений. Для каждого из представленных показателей были составлены соответствующие карты, отражающие пространственное распределение параметров агролесоландшафтов.

Ключевые слова: ГИС-технологии, картографирование агролесоландшафтов, дистанционное зондирование земель, агролесоландшафты, Ростовская область.

Цитирование. Матвеев Ш. Картографирование современного состояния и структуры агролесоландшафтов юго-востока Ростовской области с использованием данных дистанционного зондирования. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 209-216. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-24.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился с представленным окончательным вариантом и одобрил его.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Картографирование современного состояния и структуры агролесоландшафтов по данным дистанционного зондирования осуществляется с использованием современных геоинформационных систем (ГИС), которые обладают широким набором геопространственных инструментов. Их инструментарий позволяет работать с несколькими видами данных одновременно, в том числе векторными, растровыми и табличными данными. В настоящее время с использованием ГИС-технологий можно проводить исследования в различных сферах деятельности человечества: экономике, политике, социальной и духовной сфере жизни. Таким же образом геоинформационные системы могут служить и в анализе сферы сельского хозяйства, обработке данных в этой сфере, а также их обобщении и построении карт на соответствующую тематику, которые будут отражать пространственные зависимости той или иной территории.

В наши дни, как и на протяжении всего развития человеческой цивилизации, сельское хозяйство является важнейшим инструментом развития и благополучия территорий, как на локальном, так и на региональном и даже мировом уровне. Развитие сельского хозяйства зависит от таких факторов как: почвенно-климатические условия, геоморфологические, антропогенная нагрузка и др.[1, 4, 9, 15].

Целью настоящего исследования является картографирование контуров агролесоландшафтов (сельскохозяйственных полей и защитных лесных насаждений), а также определение их современного состояния, геоморфологических и морфометрических показателей (для полей), сохранности (для защитных лесных насаждений) при помощи использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и программного обеспечения ГИС.

В качестве района исследования были взяты муниципальные границы Ремонтненского района Ростовской области. Площадь района: 377800 га. Население района: 17560 человек (по состоянию на 01.01.2021). Административный центр – с. Ремонтное.

Материалы и методы. Исследования агроландшафтов проводились на региональном [8], муниципальном уровне [2, 3, 11, 12, 13], в том числе и на фациальном уровне [14, 16]. Основная и самая трудоёмкая работа в таких исследованиях – визуальное дешифрирование, а также векторизация контуров сельскохозяйственных угодий с использованием встроенного дигитайзера геоинформационной программы.

Для оценки структуры и характеристик сельскохозяйственных угодий и их картографирования на территории Ремонтненского района используется методика геоинформационного анализа изображений, полученных в результате космической съёмки территории исследований, для чего были использованы снимки высокого пространственного разрешения (10 м и 30 м) со спутников Sentinel-2 за 2023 год и Landsat-5 1986 года соответственно [17]. Дешифрирование границ сельскохозяйственных угодий проводилось методом компьютерной обработки изображений каналов R, G, B и создания на их основе цветосинтезированного изображения снимка спутника Sentinel-2, а также спутника Landsat-5 в масштабе 1:10000 – 1:50000. Геоинформационная обработка каналов для получения цветосинтезированного изображения, векторизация границ сельскохозяйственных угодий, а также анализ их современного состояния проводился с использованием программного комплекса ГИС QGIS 3.32. В результате разрабатываются аналитические картографические слои пространственного размещения, состояния и геоморфологических (по данным цифровой модели местности SRTM 1) и морфометрических характеристик сельскохозяйственных угодий, а также картографические слои пространственного размещения защитных лесных насаждений.

Статистическая обработка данных производилась в программном обеспечении Microsoft Excel и Graphical Analysis.

Результаты и обсуждение. В результате дешифрирования данных ДЗЗ спутников Sentinel-2 и Landsat-5 было определено 1656 объектов, для которых при помощи инструмента векторизации программного комплекса QGIS 3.32 построены полигоны сельскохозяйственных угодий, суммарная площадь которых составила 189 тыс. га. (рисунок 1). По данным ДЗЗ площадь используемых сельскохозяйственных полей составляет 47,6% от общей административной площади Ремонтненского района.

В результате исследований территории Ремонтненского района на 2023 год установлено 1565 участка обрабатываемой пашни площадью 180 тыс. га и 91 участок залежей площадью 9 тыс. га. Также установлено 1704 объекта защитных лесных насаждений с общей проектной площадью 5,8 тыс. га.

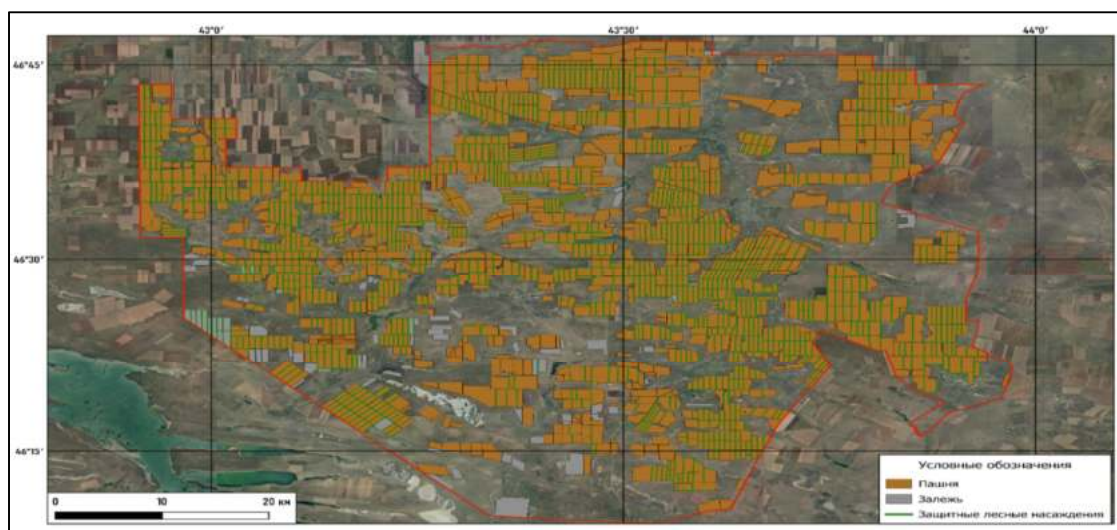


Рисунок 1 – Карта расположения компонентов агролесоландшафтов Ремонтненского района Ростовской области

Figure 1 – Map of the location of agroforestry landscape components in the Remontnensky district of the Rostov region

Полученные геоинформационные картографические слои полигонов сельскохозяйственных угодий, лесополос и почвенных контуров (разработанных на основе почвенной карты Ростовской области масштаба 1:500 000.) были исследованы с помощью геоинформационных инструментов для создания комплексной базы данных по состоянию агролесоландшафтов исследуемой территории.

Преобладающим типом почв являются каштановые почвы, тяжелосуглинистые и суглинистые на лессовидных наносах – 63% от всей площади выделенных угодий (рисунок 2).

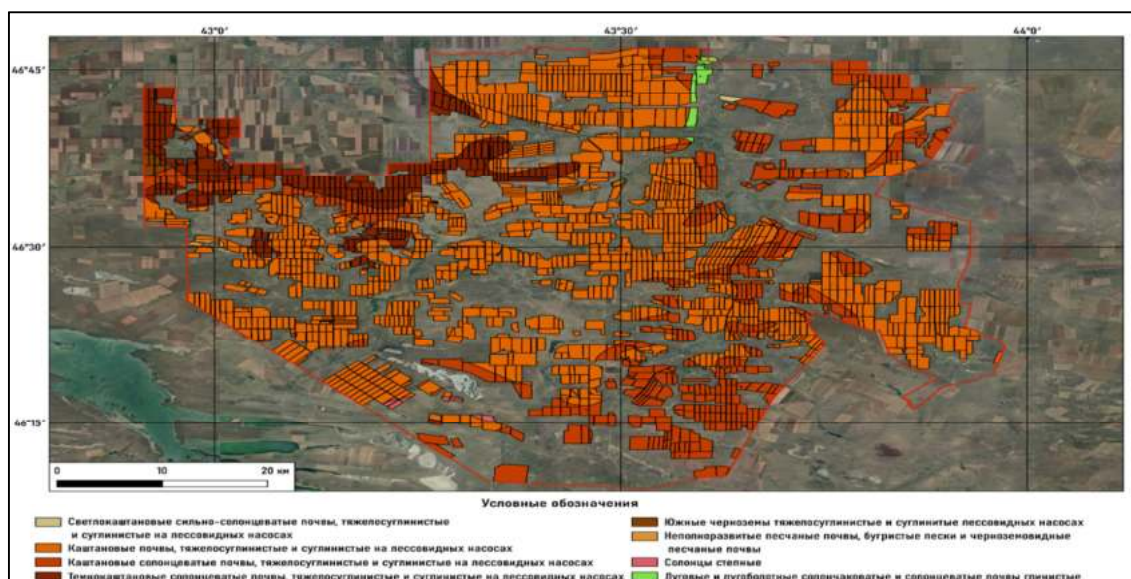


Рисунок 2 – Карта пространственного размещения контуров почв и полей Ремонтненского района Ростовской области

Figure 2 – Map of the spatial location of the contours of soils and fields in the Remontnensky district of the Rostov region

Для проведения геоморфологического и морфометрического анализа сельскохозяйственных угодий необходимые показатели рассчитывались на основе цифровой модели местности (ЦММ) SRTM 1 с пространственным разрешением 1". Для каждого контура вычислены геоинформационные слои средней крутизны и экспозиции склонов, а также была составлена соответствующая карта-схема (рисунок 3).

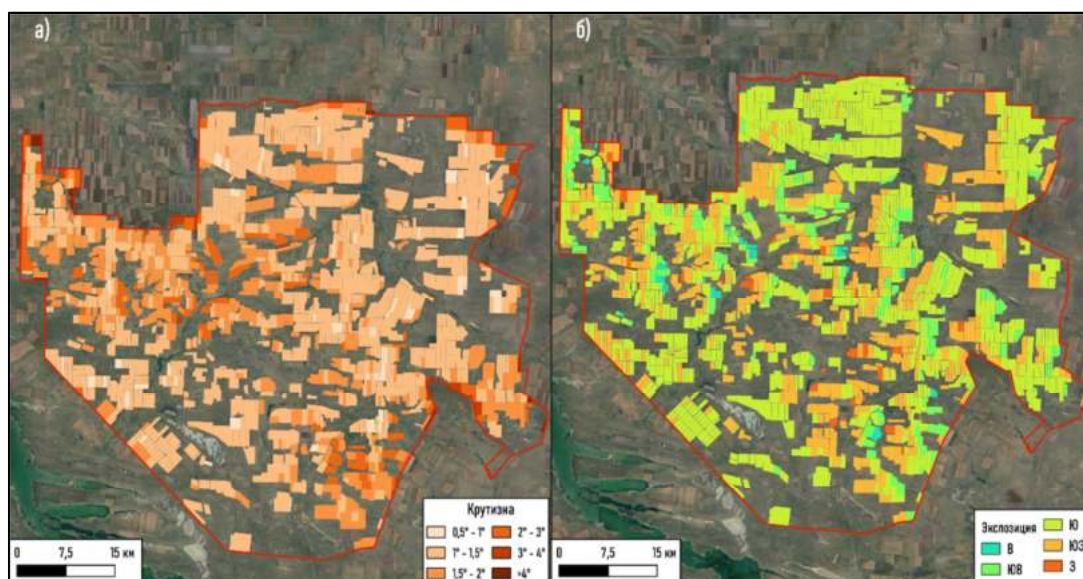


Рисунок 3 – Карта-схема крутизны (а) и экспозиции склонов (б) сельскохозяйственных угодий Ремонтненского района Ростовской области

Figure 3 – Schematic map of the steepness (a) and slope exposure (b) of agricultural land in the Remontnensky district of the Rostov region

Геоинформационный анализ средней экспозиции склонов демонстрирует неравномерное распределение сельскохозяйственных угодий. Преобладают угодья с южной (53,1%) и юго-западной (31,9%) экспозицией склонов. Геоинформационный анализ средней крутизны склонов позволяет сделать вывод, что большинство сельскохозяйственных угодий в данном районе не подвержены эрозионным процессам, их средняя крутизна в пределах границ каждого поля, в большинстве случаев не превышает 2° (90,2%) [16]. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица средней крутизны и экспозиции склонов в пределах выделенных сельскохозяйственных угодий на территории Ремонтненского района Ростовской области
Table 1 – Table of average steepness and aspect of slopes within the allocated agricultural lands in the territory of the Remontnensky district of the Rostov region

Поля / Weald	Крутизна, ° / Steepness°	Экспозиция, румб / Exposure, rhumb					Всего / Altogether
		В / east	ЮВ / south-east	Ю / south	ЮЗ / southwest	З /west	
Количество / Quantity	0,5-1	0	1	36	24	0	61
Площадь, га / Area, ha		0	75,0	3628,5	2804,5	0	6507,9
Количество / Quantity	1-1,5	1	72	574	313	13	973
Площадь, га / Area, ha		33,4	7189,3	71680,7	36213,5	1309,8	116426,7
Количество / Quantity	1,5-2	5	76	210	153	16	460
Площадь, га / Area, ha		329,6	6704,0	24127,5	16347,7	1399,5	48908,4
Количество / Quantity	2-3	17	32	49	27	4	129
Площадь, га / Area, ha		1 267,4	3010,4	6326,3	3173,4	317,8	14095,2
Количество / Quantity	3-4	3	3	7	5	2	20
Площадь, га / Area, ha		158,0	161,9	991,6	482,9	113,4	1907,9
Количество	>4	0	3	3	6	0	12
Площадь, га / Area, ha		0	234,0	473,0	450,0	0	1157,0
Всего количество / Total Quantity		26	187	879	528	35	1655
Всего площадь, га / Total area, ha		1788,4	17374,5	107227,6	59472,1	3140,6	189003,2

Используя геоинформационные инструменты программного комплекса QGIS, выявили 1473 поля, защищенных лесополосами, их площадь составляет 166 тыс. га. Были выявлены 183 поля, которые не защищены лесными насаждениями, их площадь составила 22,9 тыс. га.

Сохранность защитных лесных насаждений вычислялась как отношение площади сохранившегося полога лесных насаждений к проектной площади насаждения [4, 5]. С использованием геоинформационного анализа космоснимков были выявлены проектные площади защитных лесных насаждений, равные 5821,9 га. Оценка фактической площади защитных лесных насаждений на территории исследования проводилась с использованием вегетационного индекса NDVI на основе данных спутника Sentinel-2. Фактическая площадь защитных лесных насаждений по индексу NDVI составила 1713,4 га. Общая сохранность защитных лесных насаждений Ремонтненского района Ростовской области составляет всего 8%. Полученные результаты представлены на карте (рисунок 4).



Рисунок 4 – Карта сохранности защитных лесных насаждений Ремонтненского района Ростовской области

Figure 4 – Map of the safety of protective forest plantations in the Remontnensky district of the Rostov region

Был проведен анализ сохранности защитных лесных насаждений по типам почв, на которых они залегают. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Приуроченность сохранности защитных лесных насаждений к типу почвенного комплекса
Table 2 – Relationship between the preservation of protective forest plantations and the type of soil complex

Тип почвенных комплексов / Type of soil complexes	Проектная площадь, га / Project area, ha	Сохраненная площадь, га / Preserved area, ha	% со- хранно- сти / % Integrity
Темно-каштановые солонцеватые почвы, тяжелосуглинистые и суглинистые на лессовидных наносах / Dark chestnut saline soils, heavy loamy and loamy on loess-like pumps	913,14	384,88	22,46%
Каштановые почвы, тяжелосуглинистые и суглинистые на лессовидных наносах / Chestnut soils, heavy loamy and loamy on loess-like pumps	3668,63	932,15	54,40%
Южные черноземы тяжелосуглинистые и суглинистые на лессовидных наносах / Southern black soils are heavy loamy and loamy on loess-like pumps	67,49	50,38	2,94%
Каштановые солонцеватые почвы, тяжелосуглинистые и суглинистые на лессовидных наносах / Chestnut saline soils, heavy loamy and loamy on loess pumps	1156,78	343,87	20,07%
Неполноразвитые песчаные почвы, бугристые пески и черноземовидные песчаные почвы / Incomplete sandy soils, bumpy sands and chernozem-like sandy soils	5,68	1,77	0,10%
Луговые и лугово-болотные солончаковатые, солонцеватые почвы глинистые, солончаки / Meadow and meadow-marsh saline, saline clay soils, saline soils	2,30	0,37	0,02%
Солонцы степные / Steppe salt licks	7,91	0,05	0,01%

Сохранность защитных лесных насаждений, которые располагаются на каштановых тяжелосуглинистых и суглинистых почвах, составляет 54,4%, на темно-каштановых и каштановых солонцеватых почвах сохранность составляет 22,4% и 20,1% соответственно. Наименьшую сохранность защитных лесных насаждений имеют насаждения, расположенные на солонцах степных – 0,01%.

Заключение. Таким образом, с использованием данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий получены пространственные данные о современной структуре и характеристиках агролесоландшафтов в Ремонтненском районе Ростовской области. В районе под пашню используется 47,6% территории. Залежи занимают 5% площади сельскохозяйственных угодий, что позволяет сделать вывод о том, что земли на территории Ремонтненского района в целом благоприятны для производства сельскохозяйственной продукции. Анализ защитных лесных насаждений показал, что на территории района состояние таких насаждений неудовлетворительное – 92% находятся в степени деградации «кризис» и «бедствие», что требует организации лесохозяйственных работ по их восстановлению. Преобладающим типом почв на территории района являются каштановые, темно-каштановые и каштановые солонцеватые почвы, соответствующие сухостепной природно-климатической зоне и достаточно лесопригодные для выращивания лесных насаждений с учетом организации необходимых лесохозяйственных уходов в процессе выращивания и поддержания их жизненного цикла.

Conclusions. Thus, using Earth remote sensing data and geoinformation technologies, spatial data on the modern structure and characteristics of agroforestry landscapes in the Remontnensky district of the Rostov region were obtained. In the region, 47.6% of the territory is used for arable land. Deposits occupy 5% of the area of agricultural land, which allows us to conclude that the lands in the Remontnensky district are generally favorable for agricultural production. An analysis of protective forest plantations showed that in the region the condition of such plantations is unsatisfactory – 92% are in the “crisis” and “disaster” degree of degradation, which requires the organization of forestry work to restore them. The predominant soil type in the region is chestnut, dark chestnut and chestnut solonetzic soils, corresponding to the dry-steppe natural-climatic zone and being sufficiently suitable for growing forest plantations, taking into account the organization of the necessary forestry care during the growing process and maintaining their life cycle.

Библиографический список

1. Барабанов А. Т., Панов В. И. Преобразование гидрологического режима агроландшафтов защитными лесными насаждениями. Живые и биокосные системы. 2016. № 16. С. 6.
2. Берденгалиева А. Н., Берденгалиев Р. Н. Связь сезонной динамики озимой пшеницы и рельефа в подзоне южных черноземов Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 49-56.
3. Васильченко А. А. Пространственный анализ инфраструктуры орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 12-18.
4. Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. С. 79.
5. Выприцкий А. А., Матвеев Ш. Влияние государственных защитных лесных полос на сезонную динамику продуктивности пашни. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 271-280.
6. Выприцкий А. А. Сравнительный анализ сохранности водораздельных государственных защитных лесных полос Волгоградской области по данным Sentinel-2 NDVI и информационных продуктов типов земного покрова. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 458-470.
7. Рулев А. С., Юферев В. Г., Кошелев А. В., Ткаченко Н. А. Дистанционный мониторинг агролесоландшафтов с применением ГИС-технологий. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2013. № 1 (5). С. 51-58.
8. Синельникова К. П., Берденгалиева А. Н., Матвеев Ш. и др. Картографирование пахотных земель в агроландшафтах Волгоградской области по данным дистанционного зондирования. Исследование Земли из космоса. 2023. № 5. С. 85-96.
9. Кулик К. Н., Пугачева А. М. Лесомелиорация - основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 29-40.
10. Манаенков А. С., Подгаецкая П. М., Подгаецкий М. Е. Особенности роста малорядных лесных полос на каштановых почвах. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 3. С. 134-142.
11. Матвеев Ш. Геоинформационное картографирование современного состояния сельскохозяйственных территорий Новоаннинского района Волгоградской области. Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12. № 2. С. 36-42.
12. Матвеев Ш. Оценка современной структуры и характеристик сельскохозяйственных угодий Цимлянского района Ростовской области с применением ГИС-технологий. Научно-агрономический журнал. 2023. № 2 (121). С. 51-56.
13. Мелихова А. В. Морфометрический анализ агроландшафтов переходной зоны южных черноземов и темно-каштановых почв Волгоградской области. Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12. № 4. С. 26-33.

14. Рулев А. С., Шинкаренко С. С., Бодрова В. Н., Сидорова Н. В. Геоинформационные технологии в обеспечении точного земледелия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 115-122.

15. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019-2022 гг. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 319-327.

16. Юфев В. Г., Кулик К. Н., Рулев А. С., Мушаева К. Б., Кошелев А. В., Дорохина З. П. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.

17. Loupian E. A., Bourtsev M. A., Proshin A. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Radchenko M. V., Tolpin V. A., Uvarov I. A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System. Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Art. No. 77. 19 p.

References

1. Barabanov A. T., Panov V. I. Transformation of the Hydrological Regime of Agrolandscapes by Protective Forest Plantations. Living and bioinert systems. 2016. № 16. P. 6.

2. Berdengalieva A. N., Berdengaliev R. N. Relationship between Seasonal Dynamics of Winter Wheat and Relief in the Subzone of Southern Chernozems of the Volgograd Region. Scientific and Agronomic Journal. 2022. № 3 (118). Pp. 49-56.

3. Vasilchenko A. A. Spatial Analysis of the Infrastructure of Irrigated Fields of the Volga-Akhtuba Floodplain in the Volgograd Region. Scientific and Agronomic Journal. 2022. № 4 (119). Pp. 12-18.

4. Vinogradov B. V. Aerospace Monitoring of Ecosystems. Moscow, Nauka Publ., 1984. P. 79.

5. Vypritskii A. A., Matveev Sh. Influence of State Protective Forest Belts on Seasonal Dynamics of Arable Land Productivity. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2023. № 2 (70). Pp. 271-280.

6. Vypritsky A. A. Comparative Analysis of the Preservation of Watershed State Protective Forest Belts of the Volgograd Region According to Sentinel-2 NDVI Data and Information Products of Land Cover Types. InterCarto. Inter-GIS. 2022. V. 28. № 1. Pp. 458-470.

7. Rulev A. S., Yuferev V. G., Koshelev A. V., Tkachenko N. A. Remote monitoring of agroforestry landscapes using GIS technologies. Bulletin of Volgograd State University. Series 11: Natural Sciences. 2013. № 1 (5). Pp. 51-58.

8. Sinelnikova K. P., Berdengalieva A. N., Matveev Sh., et al. Mapping of arable land in agrolandscapes of the Volgograd region according to remote sensing data. Exploring the Earth from space. 2023. № 5. Pp. 85-96.

9. Kulik K. N., Pugacheva A. M. Forest Reclamation as the Basis for Creating Sustainable Agrolandscapes in Conditions of Insufficient Moisture. Forest Technical Journal. 2016. V. 6. № 3 (23). Pp. 29-40.

10. Manaenkov A. S., Podgaetskaya P. M., Podgaetsky M. E. Peculiarities of Growth of Small-Row Forest Belts on Chestnut Soils. Bulletin of Moscow State University. Episode 5: Geography. 2022. № 3. Pp. 134-142.

11. Matveev Sh. Geoinformation Mapping of the Current State of Agricultural Territories of the Novoanninsky District of the Volgograd Region. Natural Systems and Resources. 2022. V. 12. № 2. Pp. 36-42.

12. Matveev Sh. Assessment of the Modern Structure and Characteristics of Agricultural Land in the Tsimlyansky District of the Rostov Region with the Use of GIS-Technologies. Scientific and Agronomic Journal. 2023. № 2 (121). Pp. 51-56.

13. Melikhova A. V. Morphometric Analysis of Agrolandscapes of the Transition Zone of Southern Chernozems and Dark Chestnut Soils of the Volgograd Region. Natural Systems and Resources. 2022. V. 12. № 4. Pp. 26-33.

14. Rulev A. S., Shinkarenko S. S., Bodrova V. N., Sidorova N. V. Geoinformation Technologies in Ensuring Precision Farming. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2018. № 4 (52). Pp. 115-122.

15. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V. Satellite Monitoring of Desertification Processes in the South of European Russia in 2019-2022. 2022. V. 19. № 5. Pp. 319-327.

16. Yuferev V. G., Kulik K. N., Rulev A. S., Mushayeva K. B., Koshelev A. V., Dorokhina Z. P. Geoinformation Technologies in Agroforestry. Volgograd: VNIALMI, 2010. 102 p.

17. Loupian E. A., Bourtsev M. A., Proshin A. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Radchenko M. V., Tolpin V. A., Uvarov I. A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System. Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Art. No. 77. 19 p.

Информация об авторе

Матвеев Штефан, лаборант-исследователь лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0001-8873-2799, e-mail: matveev-sh@vfanc.ru

Author Information

Matveev Stefan, laboratory assistant-researcher at the laboratory of geoinformation modeling and mapping of agroforestry landscapes of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-8873-2799, e-mail: matveev-sh@vfanc.ru

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-25

CHANGES IN THE COMPOSITION OF MILK OF SOWS IN THE FIRST SURVEY IN RELATIONSHIP WITH THE BIOLOGICAL VALUE OF DIETS

¹Gayirbegov D. Sh., ²Varakin A. T., ³Simonov G. A., ⁴Kulik D. K., ²Vorontsova E. S.,
¹Khovатов N. E.

¹National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev
Saransk, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

³Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin
Vologda, Russian Federation

⁴All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch FGBNU "Federal Scientific Center for Hydraulic
Engineering and Land Reclamation" named after A. N. Kostyakov"
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: varakinat58@mail.ru

Received 09.04.2024

Submitted 06.06.2024

Summary

The data on the determination of the aftereffect of the feed additive "Krezacin" in the diets of repair pigs on the quality indicators of milk of sows of the first farrowing are presented. According to the results of the experiment, the optimization of the studied feed additive as part of the feed rations of the repair young pigs has the best aftereffect on the quality of milk from sows of the first farrowing.

Abstract

Introduction. Determination of the aftereffect of the feed additive "Krezacin" in the diets of repair pigs on the quality indicators of the milk of sows of the first farrowing. **Materials and methods.** After completing the scientific and economic experience conducted in the conditions of pig farming by the POA "Center for Practical Training" of the Republic of Mordovia, on crossbred pigs (large white X landras), using the feed additive "Krezacin" as part of their diet, after transferring the pigs to the reproduction workshop, and farrowing them, in order to identify the aftereffect of the studied additive Observations were made on the composition of the milk of sows of the first farrowing. **Results and conclusions.** The conducted studies showed that repair pigs from the first experimental group, who received 5.0 mg/kg of live weight in addition to the basic diet of cresacin, had better milk after the first farrowing compared with milk from sows from other experimental groups. Thus, the dry matter content of sow milk from the first experimental group exceeded the milk of control analogues by 1.08% ($p < 0.05$), analogues from the second experimental group by 0.31% and from the third experimental group by 0.92% ($p > 0.05$). An advantage in fat and protein content was also found in the milk of sows from the first experimental group. Thus, in terms of fat content they were superior to control sows – by 0.65% ($p < 0.05$), analogues from the second group – by 0.31% ($p > 0.05$) and from the third – by 0.41% ($p > 0.05$), and in terms of protein concentration, the milk of sows of the first group exceeded the control and the third experimental group – by 0.39% ($p < 0.05$), from the second group – by 0.28% ($p < 0.05$). The best result for the concentration of heavy metals was also found in the milk of sows from the first experimental group.

Keywords: repair pigs, sows, feed additive, "Krezacin".

Citation. Gayirbegov D. Sh., Varakin A. T., Simonov G. A., Kulik D. K., Vorontsova E. S., Khovатов N. E. Changes in the composition of milk of sows in the first survey in relationship with the biological value of diets. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 217-223 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-25.

Author's contribution. All the authors of the study were directly involved in planning, conducting the experiment and analyzing the results obtained. The authors of this article have read the final version and approved it.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

УДК 636.4.084.41

**ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА МОЛОКА СВИНОМАТОК ПЕРВОГО ОПОРОСА
ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТЬЮ РАЦИОНОВ**¹Гайирбегов Д. Ш., доктор сельскохозяйственных наук, профессор²Варакин А. Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор³Симонов Г. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор⁴Кулик Д. К., доктор сельскохозяйственных наук²Воронцова Е. С., кандидат биологических наук¹Ховатов Н. Э., аспирант¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва
г. Саранск, Российская Федерация²ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет,
г. Волгоград, Российская Федерация³Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина
г. Вологда, Российская Федерация⁴Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Определение последствий кормовой добавки «Крезацин» в рационах ремонтных свинок на качественные показатели молока свиноматок первого опороса. **Материалы и методы.** После завершения научно-хозяйственного опыта, проведённого в условиях свиноводческого хозяйства ПООА «Центр практического обучения» Республики Мордовия, на помесных свинках (крупная белая Х ландрас), с использованием в составе их рациона кормовой добавки «Крезацин», после перевода свинок в цех воспроизводства и их опороса, с целью выявления последствий исследуемой добавки на состав молока свиноматок первого опороса были проведены наблюдения. **Результаты и выводы.** Проведенные исследования показали, что ремонтные свинки из первой опытной группы, получавшие дополнительно к основному рациону крезацина в количестве 5,0 мг/кг живой массы, после первого опороса имели более качественное молоко, по сравнению с молоком от свиноматок из других подопытных групп. Так, по содержанию сухого вещества молоко свиноматок из первой опытной группы превосходило молоко контрольных аналогов – на 1,08% ($p < 0,05$), аналогов из второй опытной группы – на 0,31% и из третьей опытной группы – на 0,92% ($p > 0,05$). Преимущество по жирности и белковости также установлено в молоке свиноматок из первой опытной группы. Так, по содержанию жира они превосходили контрольных свиноматок – на 0,65% ($p < 0,05$), аналогов из второй группы – на 0,31% ($p > 0,05$) и из третьей – на 0,41% ($p > 0,05$), а по концентрации белка молоко свиноматок первой группы превосходило контрольную и третью опытную – на 0,39% ($p < 0,05$), из второй группы – на 0,28% ($p < 0,05$). Лучший результат по концентрации тяжелых металлов также выявлен в молоке свиноматок из первой опытной группы.

Ключевые слова: ремонтные свинки, свиноматки, кормовая добавка, «Крезацин».

Цитирование. Гайирбегов Д. Ш., Варакин А. Т., Симонов Г. А., Кулик Д. К., Воронцова Е. С., Ховатов Н. Э. Изменение состава молока свиноматок первого опороса во взаимосвязи с биологической ценностью рационов. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 217-223. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-25.

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 настоящее время решение задач по обеспечению продовольственной безопасности страны является особо актуальным. В этой связи ключевое значение имеет наращивание темпов дальнейшего развития животноводства и в частности свиноводства, как наиболее перспективной отрасли.

Развитие свиноводства предусмотрено и в отраслевой программе, целью которой является увеличение производства свинины для обеспечения внутренних потребностей страны и выхода на мировые рынки.

В современных экономических условиях при выполнении работ в данном направлении немаловажное значение имеет нормированное и полноценное кормление ремонтного молодняка, а также взрослого поголовья свиней за счёт использования в составе их рационов ранее неиспользованных, более эффективных кормовых добавок.

К настоящему времени ассортимент рекомендуемых кормовых добавок в составе комбикормов для свиней достаточно широк, однако отдельные добавки дорогостоящие и не всегда экономически оправданы, способны впоследствии оказывать отрицательное действие, как на окружающую среду, так и на организм животных и человека.

В этой связи в целях профилактики стресса у животных и птицы, а также для повышения резистентности их организма к воздействию негативных факторов биологического и физического характера, повышения продуктивности в современной практике получили распространение иммуностимуляторы и адаптогены естественного и синтетического происхождения. Многочисленными исследованиями подтверждено их эффективность в составе рационов кормления сельскохозяйственных животных и птицы [2, 4-7, 9, 10, 17, 18, 20, 24].

Одной из таких добавок является биологически активная кормовая добавка «Крезацин», выполняющая функции иммуностимулятора и адаптогена, характеристика которой нами была изложена ранее [3].

В связи с тем, что качество молока свиноматок непосредственно оказывает существенное влияние на рост и развитие поросят, а его качественный состав зависит от полноценности кормления, применение в составе рациона различных адаптогенов и иммуномодуляторов актуально, имеет теоретическое значение и практический интерес.

Необходимо также отметить, что организация полноценного питания животных и птицы по детализированным нормам позволяет увеличивать скорость роста и развития молодняка [16, 23, 25], получать больше качественной животноводческой продукции [8, 11-15, 21, 22], улучшать здоровье животных [1, 19], что не потеряло актуальности и в настоящее время.

Цель исследований – изучение действия различных доз кормовой добавки «Крезацин» в составе комбикормов рациона ремонтных свинок на качество молока свиноматок первого опороса.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- определение влияния крезацина на концентрацию сухого вещества, жира, белка и тяжёлых металлов в молоке свиноматок первого опороса.

Материалы и методы. Вся исследовательская работа выполнялась в условиях свиноводческого хозяйства профессиональной образовательной организации ассоциации «Центр практического обучения» Республики Мордовия на ремонтном молодняке свиней. В период работы был проведён научно-хозяйственный опыт на аналогичных 40 головах месячных свинок, со средней живой массой от 8,15 до 8,18 кг, из которых сформировали четыре группы: контрольную и опытные – I, II и III. Условия содержания свинок всех групп также были аналогичными – в станках по 10 голов в каждом.

При кормлении животных пользовались современными нормами РАСХН и рационы кормления ремонтного молодняка и свиноматок состояли из полнорационных комбикормов. Молодняк в возрасте 30-42 суток потреблял комбикорм СПК-3; 43-60 – СПК-4; 61-104 – СПК-5; 105-240 суток – СПК-6. После перевода молодняка в цех воспроизводства и осеменения, супоросные свиноматки получали комбикорм СПК-1, а лактирующие – СПК-2. Рецептура комбикорма, а соответственно, и концентрация в нём энергии и питательных веществ, для животных каждой группы были одинаковыми и отличались лишь содержанием кормовой добавки «Крезацин» в составе комбикорма рациона. Контрольные животные получали комбикорм без добавки крезацина, а опытные их аналоги из I опытной, II опытной и III опытной в дополнение к комбикорму (основной рацион) получали добавку «Крезацин» из расчёта 5,0; 7,5 и 10 мг на 1 кг живой массы свинок соответственно. Для полной оценки эффективности применения в рационе ремонтного молодняка свиней кормовой добавки – «Крезацин», после перевода молодняка в цех воспроизводства, их осеменения и опороса, были проведены наблюдения по выявлению последствий данной добавки на качественные показатели молока свиноматок первого опороса. Для этого, под наблюдение были взяты по три головы из каждой группы, которые по технологии, принятой в хозяйстве, находились в индивидуальных клетках.

Для исследования, с помощью молокоотсоса, из разных сосков брали пробы молока. Содержание сухого вещества в молоке определяли высушиванием в сушильном шкафу (ГОСТ 3626-73); жир – кислотным методом, ГОСТ (5867-90); общий белок – методом формального титрования (ГОСТ 25179-90) и на анализаторе КАМ 98-2М; свинец и кадмий – методом определения токсичных элементов по ГОСТ 33824-2016; мышьяк – атомно-абсорбционным методом (ГОСТ 31266 (ААС); ртуть – колориметрическим методом (ГОСТ 26927 п. 2).

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования показали, что ремонтные свинки из первой опытной группы, получавшие дополнительно к основному рациону крезацина в количестве 5,0 мг/кг живой массы, после первого опороса имели более качественное молоко, по сравнению с молоком от свиноматок из других подопытных групп. Так, по содержанию сухого вещества молоко свиноматок из первой опытной группы превосходило молоко контрольных аналогов – на 1,08 % ($p < 0,05$), аналогов из второй опытной группы – на 0,31% и из третьей опытной группы – на 0,92 % ($p > 0,05$). Преимущество по жирности и белковости также установлено в молоке свиноматок из первой опытной группы: по содержанию жира они превосходили контрольных свиноматок – на 0,65% ($p < 0,05$), аналогов из второй группы – на 0,31% ($p > 0,05$) и из третьей – на 0,41% ($p > 0,05$), а по концентрации белка, молоко свиноматок первой группы было с превосходством, в сравнении с контрольной и третьей опытной группами, – на 0,39% ($p < 0,05$), из второй группы – на 0,28% ($p < 0,05$). Полученные результаты по вышеуказанным показателям в абсолютных величинах приведены на рисунке 1.

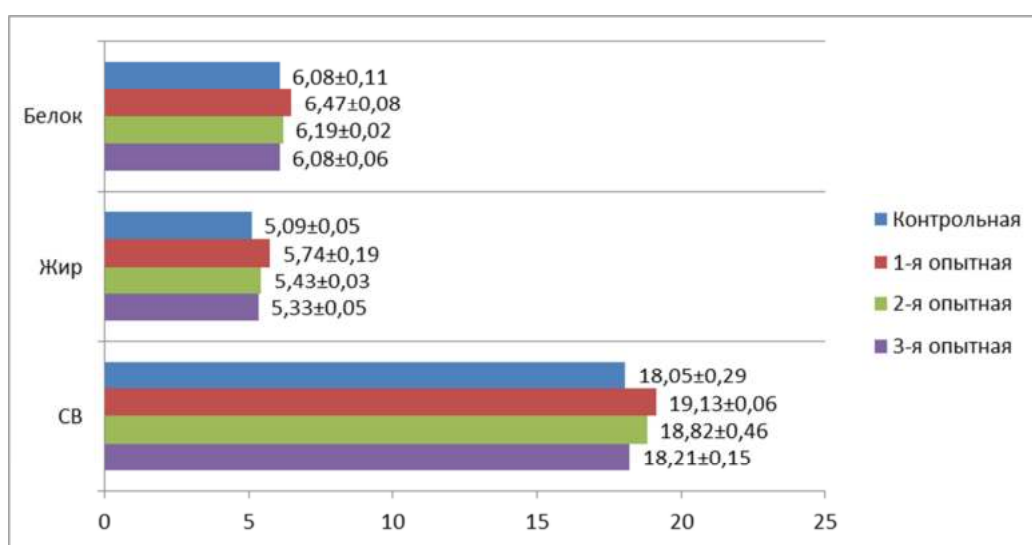


Рисунок 1 – Качественные показатели молока свиноматок первого опороса, %
Figure 1 – Qualitative indicators of milk from first parity sows, %

Исследования также показали, что кормовая добавка «Крезацин» обладает и детоксикационными свойствами, что выразилось в снижении, или отсутствии тяжелых металлов в испытуемых пробах молока свиноматок первого опороса (рисунок 2).

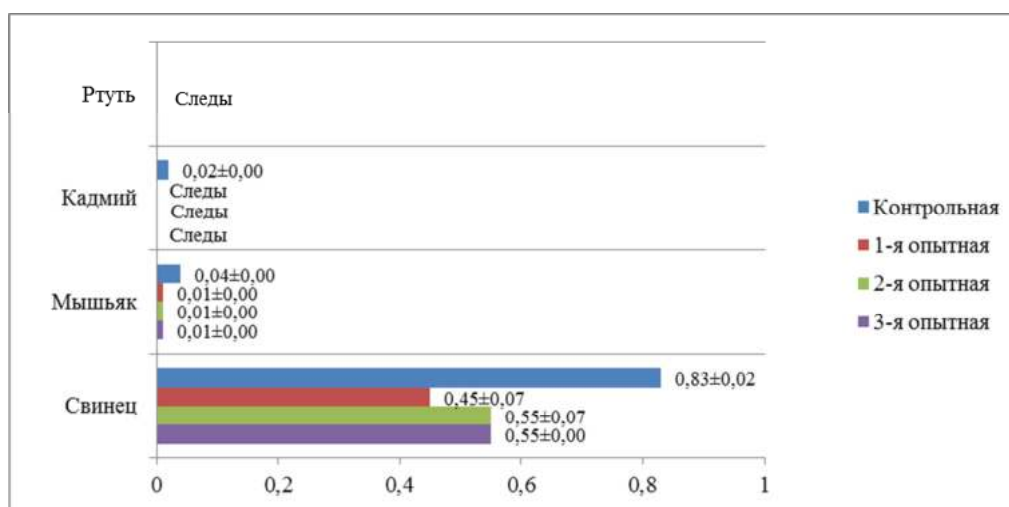


Рисунок 2 – Концентрация тяжелых металлов в молоке свиноматок первого опороса, мг/кг
Figure 2 – Concentration of heavy metals in milk of first parity sows, mg/kg

Так, добавка различных дозировок крезацина в состав комбикорма рациона молодняку свинок опытных групп, хотя и снизило концентрацию тяжелых металлов в молоке свиноматок опытных групп, по сравнению с контрольными аналогами, но существенной разницы в показателях их количества не было выявлено.

Выводы. Таким образом, на основании проведенных исследований можно констатировать, что добавка в рационы ремонтных свинок крезацина в количестве 5 мг/кг их живой массы оказывает положительное последствие на качество молока у свиноматок первого опороса. Изменение показателей качества молока свиноматок находились в связи с биологической ценностью рационов ремонтных свинок. Кроме того, добавка в таком количестве способствует лучшему выведению тяжелых металлов из организма свиней.

Conclusions. Thus, based on the research conducted, it can be stated that the addition of krezacin to the diets of replacement gilts in the amount of 5 mg/kg of their live weight has a positive after-effect on milk quality in first parity sows. Changes in milk quality indicators of sows were in connection with the biological value of gilt diets. Besides, additive in this quantity promotes better removal of heavy metals from the body of pigs.

Библиографический список

1. Батанов С. Д., Березкина Г. Ю., Килин В. В. Влияние минеральной добавки «Стимул» на биохимические показатели крови. Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2014. Т. 220. С. 38-42.
2. Варакин А. Т. и др. Органический селен и дрожжевой пробиотик в рационах лактирующих свиноматок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 152-161.
3. Варакин А. Т. и др. Влияние кормовой добавки «Крезацин» на обмен веществ у ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 332-338.
4. Варакин А. Т. и др. Продуктивность и качество молока лактирующих коров чёрно-пёстрой породы в связи с оптимизацией минерального питания. Эффективное животноводство. 2023. № 5 (187). С. 40-42.
5. Варакин А. Т. и др. Влияние новой кормовой добавки на продуктивность и физиологические показатели молочных коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 222-231.
6. Варакин А. Т. и др. Гематологические показатели бычков при введении в рационы селеносодержащих добавок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 209-218.
7. Гайирбегов Д. Ш. и др. Как более рационально использовать БАД ферросил в рационах животных и птицы. Эффективное животноводство. 2015. № 7 (116). С. 33-35.
8. Гайирбегов Д. Ш. и др. Химический состав и энергетическая ценность мяса бычков в зависимости от типа кормления. Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 29. № 1 (29). С. 71-74.
9. Епифанов В. Г. и др. Влияние кормовой добавки «Белкофф-М» на молочную продуктивность голшти-низированных первотёлок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 2 (34). С. 93-98.
10. Зотеев В., Симонов Г., Симонов А. БВМК с цеолитовым туфом в рационе бычков. Комбикорма. 2013. № 8. С. 49-50.
11. Зотеев С. В. и др. Зерновое сорго в комбикормах для цыплят-бройлеров. Птицеводство. 2017. № 6. С. 27-29.
12. Кутузова А. А. и др. Практическое руководство по ресурсосберегающим технологиям и приёмам улучшения сенокосов и пастбищ в Волго-Вятском регионе. Москва, 2014. 75 с.
13. Мунгин В. В. и др. Повышение яйценоскости и качества яиц перепёлок. Птицеводство. 2016. № 7. С. 31-34.
14. Садыков М. М. и др. Продуктивность калмыцкого скота в условиях Дагестана. Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 1. С. 19-21.
15. Симонов Г., Магомедов М., Алигазиева П. Кормление КРС полнорационной смесью эффективнее. Комбикорма. 2013. № 10. С. 63-64.
16. Симонов Г. А., Гайирбегов Д. Ш., Федин А. С. Влияние препарата креззооферан на энергию роста ремонтного молодняка кур-несушек. Эффективное животноводство. 2013. № 5 (91). С. 22-23.
17. Симонов Г., Гайирбегов Д., Федин А. Ферросил повышает продуктивность кур-несушек. Комбикорма. 2015. № 4. С. 62.
18. Симонов Г. и др. Влияние комплексного препарата на продуктивность перепёлок-несушек. Комбикорма. 2016. № 9. С. 93-94.
19. Симонов Г. А. и др. Эффективное кормление высокопродуктивных молочных коров на разных физиологических стадиях. Эффективное животноводство. 2018. № 1 (140). С. 28-29.
20. Симонов Г. А. и др. Влияние минеральной добавки на уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови коров. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 73-79.
21. Тяпугин Е. А. и др. Качество молока коров при различных технологиях доения. Проблемы развития АПК региона. 2015. Т. 23. № 3 (23). С. 75-78.

22. Тяпугин Е. А. и др. Сравнительная оценка технологических факторов, влияющих на производство и качество молока, при различных технологиях доения. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 3. С. 50-53.

23. Ховатов Н. Э. и др. Эффективная кормовая добавка в рационах ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 441-447.

24. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.

25. Simonov G. A., et al. Efficiency of growing crossbreed bull-calves of the mountain cattle with Russian polled breed. E3S Web of Conferences. From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture: International Scientific and Practical Conference "IDSISA 2020". 2020. P. 02004.

References

1. Batanov S. D., Berezkina G. Yu., Kilin V. V. Influence of mineral additive "Stimulus" on blood biochemical parameters. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2014. V. 220. Pp. 38-42.

2. Varakin A. T., et al. Organic selenium and yeast probiotic in the diets of lactating sows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2021. No 4. (64). Pp. 152-161.

3. Varakin A. T., et al. The influence of the feed additive "Krezacin" on the metabolism of replacement pigs. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2023. No 1 (69). Pp. 332-338.

4. Varakin A. T., et al. Productivity and quality of milk of lactating cows of the black-and-white breed in connection with the optimization of mineral nutrition. Efficient livestock farming. 2023. No 5 (187). Pp. 40-42.

5. Varakin A. T., et al. The effect of a new feed additive on the productivity and physiological parameters of dairy cows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2021. No 1 (61). Pp. 222-231.

6. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of calves with the introduction of selenium-containing additives into diets. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2021. No 3 (63). Pp. 209-218.

7. Gayirbegov D. Sh., et al. How to use ferrosil dietary supplement more rationally in the diets of animals and poultry. Efficient livestock farming. 2015. No 7 (116). Pp. 33-35.

8. Gayirbegov D. Sh., et al. Chemical composition and energy value of bull meat depending on the type of feeding. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2017. V. 29. No 1 (29). Pp. 71-74.

9. Epifanov V. G., et al. The influence of the feed additive "Belkoff - M" on the milk productivity of holsteinized first-calf heifers. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2014. No 2 (34). Pp. 93-98.

10. Zoteev V., Simonov G., Simonov A. BVMK with zeolite tuff in the diet of bulls. Compound feed. 2013. No 8. Pp. 49-50.

11. Zoteev S. V., et al. Grain sorghum in compound feed for broiler chickens Poultry farming. 2017. No 6. Pp. 27-29.

12. Kutuzova A. A., et al. Practical guide to resource-saving technologies and methods for improving hayfields and pastures in the Volga-Vyatka region. Moscow, 2014. 75 p.

13. Mungin V. V., et al. Increasing egg production and quality of quail eggs. Poultry farming. 2016. No 7. Pp. 31-34.

14. Sadykov M. M., et al. Productivity of kalmyk cattle in the conditions of Dagestan. Dairy and beef cattle breeding. 2017. No 1. Pp. 19-21.

15. Simonov G., Magomedov M., Aligazieva P. Feeding cattle with a complete mixture is more effective. Compound feed. 2013. No 10. Pp. 63-64.

16. Simonov G. A., Gayirbegov D. Sh., Fedin A. S. Effect of the drug crezooferan on the growth energy of replacement laying hens. Efficient livestock farming. 2013. No 5 (91). Pp. 22-23.

17. Simonov G., Gayirbegov D., Fedin A. Ferrosil increases the productivity of laying hens. Compound feed. 2015. No 4. P. 62.

18. Simonov G., et al. The influence of a complex preparation on the productivity of laying quails. Compound feed. 2016. No 9. Pp. 93-94.

19. Simonov G. A., et al. Effective feeding of highly productive dairy cows at different physiological stages. Efficient livestock farming. 2018. No 1 (140). Pp. 28-29.

20. Simonov G. A., et al. The influence of mineral supplements on the level of total protein and its fractions in the blood serum of cows. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2022. No 1. Pp. 73-79.

21. Tyapugin E. A., et al. Quality of cows' milk under various milking technologies. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2015. V. 23. No 3 (23). Pp. 75-78.

22. Tyapugin E. A., et al. Comparative assessment of technological factors influencing the production and quality of milk under various milking technologies. Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2015. No 3. Pp. 50-53.

23. Khovатов N. E., et al. Effective feed additive in the diets of replacement gilts. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2023. No 1 (69). Pp. 441-447.

24. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.

25. Simonov G. A., et al. Efficiency of growing crossbreed bull-calves of the mountain cattle with Russian polled breed. E3S Web of Conferences. From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture: International Scientific and Practical Conference "IDSISA 2020". 2020. P. 02004.

Информация об авторах

Гайирбегов Джунайди Шарамазанович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры зоотехнии имени профессора С. А. Лапшина с курсом промышленного свиноводства, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва (Российская Федерация, 430904, Республика Мордовия, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, д. 31, Аграрный институт), e-mail: kafedra_zoo@mail.ru

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Частная зоотехния», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0375-7108>, e-mail: varakinat58@mail.ru

Симонов Геннадий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Кормление сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина» (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4559-233X>, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

Кулик Дмитрий Константинович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), e-mail: galstuk107@yandex.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Ховатов Николай Эдуардович, аспирант кафедры зоотехнии имени профессора С. А. Лапшина с курсом промышленного свиноводства, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва (Российская Федерация, 430904, Республика Мордовия, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, д. 31, Аграрный институт), тел. 8 (8342) 25-41-65, e-mail: kafedra_zoo@mail.ru

Author's Information

Gayirbegov Dzhunaidi Sharamazanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Animal Science named after Professor S. A. Lapshin with a course in industrial pig breeding, National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Russian Federation, 430904, Republic of Mordovia, Saransk, Yalga village, st. Rossiyskaya, 31, Agrarian Institute), e-mail: kafedra_zoo@mail.ru

Varakin Aleksander Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of "Private Animal Science", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0375-7108>, e-mail: varakinat58@mail.ru

Simonov Gennady Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department "Feeding of farm animals", Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin (Russian Federation, 160555, Vologda, s. Dairy, st. Shmidta, 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4559-233X>, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

Kulik Dmitry Konstantinovich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Department of Intensive Crop Cultivation Technologies, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Reclamation" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva St., 9), e-mail: galstuk107@yandex.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Khovатов Nikolay Eduardovich, graduate student of the Department of Animal Science named after Professor S. A. Lapshin with a course in industrial pig breeding, National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Russian Federation, 430904, Republic of Mordovia, Saransk, Yalga village, st. Rossiyskaya, 31, Agrarian Institute), e-mail: kafedra_zoo@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-26

USE OF PROTEIN CONCENTRATE "AGRO-MATIC" IN FEEDING YOUNG CHICKENS

Nikolaev S. I., Dronov R. N., Karapetyan A. K., Danilenko I. Yu., Chekhranova S. V., Shkalenko V. V.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: boyboy5858@mail.ru

Received 11.04.2024

Submitted 30.05.2024

Abstract

Introduction. Problems and promising areas of the poultry farming industry are closely related to adequate poultry feeding. Feed accounts for up to 70% of the total cost structure. Therefore, today the search for alternative feed sources in poultry feeding that has better feed advantages and is characterized by low cost remains relevant. One of these is the protein concentrate "Agro-Matic". In connection with the above, we studied the effect of the protein concentrate "Agro-Matic" in feed for young chickens on hematological parameters and the dynamics of live weight. **Materials and methods.** Scientific and economic experiments on young chickens were carried out at the JSC Volzhskaya poultry farm in the Sredneakhtubinsky district of the Volgograd region. The Hisex Brown cross bird was selected into four similar groups, taking into account age, development, etc. There were 80 birds in each group (control and three experimental ones). The duration of the studies was 17 weeks. Throughout the entire experiment, young chickens in the control group received feed with full-fat soybeans. The birds of the I-, II- and III-experimental groups received feed in which full-fat soybean was partially or completely replaced by the Agro-Matic protein concentrate in the amount of 50%, 75% and 100%, respectively (of the weight of soybeans in the diet). The conditions for keeping and feeding poultry of all experimental groups were the same and complied with the recommendations of VNITIP. **Results and conclusions.** At the end of the experiment, an increase in the live weight of pullets of the experimental groups was noted compared to the control group, so in experimental

group I (1408.33 g) by 12.13 g, in experimental group II (1431.30 g) by 22.97 g, in the III experimental group (1440.04 g) – by 31.75 g. Based on the studies conducted, it should be noted that the hematological parameters in birds of all experimental groups were within the physiological norm. However, the birds of the I-, II- and III experimental groups, compared with the control group, tended to increase the content of erythrocytes by 8.01%, 9.70%, 10.97%, hemoglobin by 6.98%, 8.12%, 8.53%, total protein by 2.69%, 3.05%, 3.54%, glucose by 2.73%, 3.12%, 3.52%, calcium by 6.64%, 11.80%, 15.13% phosphorus by 4.88%, 6.09%, 13.41% The observed trend in the blood of birds of the experimental groups indicates a greater intensity of metabolic processes in their body, compared with control analogues. Thus, partial and complete replacement of soybean with protein concentrate “Agro-Matic” in feed recipes had a positive effect on the hematological parameters and live weight of pullets.

Keywords: young chickens, feeding young chickens, protein concentrates, “Agro-Matic”, live weight of chickens, blood indicators of chickens.

Citation. Nikolaev S. I., Dronov R. N., Karapetyan A. K., Danilenko I. Yu., Chekhranova S. V., Shkalenko V. V. Use of protein concentrate “Agro-Matic” in feeding young chickens. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 223-231 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-26.

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 636.087.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА «АГРО-МАТИК» В КОРМЛЕНИИ МОЛОДНЯКА КУР

Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Дронов Р. Н., аспирант

Карапетян А. К., доцент, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Даниленко И. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Шкаленко В. В., доктор биологических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Проблемы и перспективные направления отрасли птицеводства тесно связаны с полноценным кормлением птицы. На долю кормов приходится до 70% от структуры общих затрат. Поэтому на сегодняшний день остается актуальным поиск альтернативных кормовых источников в кормлении птицы, обладающих лучшими кормовыми достоинствами и характеризующихся низкой стоимостью. Одним из таких является белковый концентрат «Агро-Матик». В связи с вышесказанным нами было изучено влияние белкового концентрата «Агро-Матик» в комбикормах для молодняку кур на гематологические показатели и динамику живой массы. **Материалы и методы.** Научно-хозяйственный опыт на молодняке кур проводили на АО птицефабрика «Волжская» Среднеахтубинского района Волгоградской области. Птицу кросса «Хайсекс Браун» подбирали в четыре аналогичные группы с учётом возраста, развития и т.д. В каждой группе (контрольная и три опытные) было по 80 голов птицы. Продолжительность исследований составляла 17 недель. На протяжении всего опыта молодняку кур контрольной группы получал комбикорм с соей полножирной. Птица I-, II- и III-опытной групп получала комбикорма, в которых соя полножирная была частично или полностью заменена на белковый концентрат «Агро-Матик» в количестве 50%, 75% и 100% соответственно (от массы сои в рационе). Условия содержания и кормления птицы всех подопытных групп были одинаковыми и соответствовали рекомендациям ВНИТИП. **Результаты и выводы.** В конце опыта было отмечено повышение живой массы молодняка опытных групп по сравнению с контрольной, так, в I-опытной (1408,33 г) – на 12,13 г, во II-опытной (1431,30 г) – на 22,97 г, в III-опытной (1440,04 г) – на 31,75 г. На основании проведенных исследований следует отметить, что гематологические показатели у птицы всех подопытных групп находились в пределах физиологической нормы. Тем не менее, птица I-, II- и III-опытной групп в сопоставлении с контрольной имела тенденцию к увеличению содержания эритроцитов на 8,01%, 9,70%, 10,97%, гемоглобина на 6,98%, 8,12%, 8,53%, общего белка на 2,69%, 3,05%, 3,54%, глюкозы на 2,73%, 3,12%, 3,52%, кальция на 6,64%, 11,80%, 15,13% фосфора на 4,88%, 6,09%, 13,41% Наблюдаемая тенденция в крови птицы опытных групп говорит о большей интенсивности протекания метаболических процессов в их организме по сопоставлению с контрольными аналогами. Таким образом, частичная и полная замена сои на белковый концентрат «Агро-Матик» в рецептах комбикормов положительно сказалась на гематологических показателях и живой массе кур-молодняка.

Ключевые слова: молодняку кур, кормление молодняку кур, белковые концентраты, «Агро-Матик», живая масса кур, показатели крови кур.

Цитирование. Николаев С. И., Дронов Р. Н., Карапетян А. К., Даниленко И. Ю., Чехранова С. В., Шкаленко В. В. Использование белкового концентрата «Агро-Матик» в кормлении молодняка кур. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 223-231. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-26.

Авторский вклад. Все авторы данной исследовательской работы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе этого исследования. Все авторы данной статьи прочитали и одобрили представленную окончательную версию.

Конфликт интересов. Авторы объявили, что нет никаких конфликтов интересов.

Введение. Лидирующей подотраслью животноводства на сегодняшний день является птицеводство, которое обеспечивает людей высокоценными продуктами питания (мясом, яйцом), а перерабатывающие отрасли – сырьем. Для обеспечения продовольственной безопасности страны данный аспект особенно важен [1].

Известно, что реализация генетического потенциала продуктивности птицы зависит от следования соблюдению оптимальных условий окружающей среды (освещенность, воздухообмен, температура, полноценное питание, ветеринарно-санитарные показатели, уровень шума и т. д.) [6].

Сбалансированное питание птицы является важным фактором в достижении высокой продуктивности сельскохозяйственной птицы, получения качественной продукции и повышения рентабельности производства. В структуре себестоимости птицеводческой продукции на долю комбикормов приходится более 70% [2, 10, 11].

Перспективным направлением в области кормления сельскохозяйственной птицы является поиск новых кормовых источников и добавок. На предприятии ООО НПО «Агро-Матик» производят белковый концентрат «Агро-Матик» на основе зерна люпина. В сложившихся условиях на кормовом рынке считаем актуальным использование белкового концентрата «Агро-Матик» в составе рецептов комбикормов для птицы.

Целью работы явилось изучение влияния различных уровней ввода белкового концентрата «Агро-Матик» в составе комбикормов на живую массу, морфологический и биохимический состав крови молодняка кур.

Материалы и методы. Исследования на молодняке кур высокопродуктивного кросса «Хайсекс Коричневый» проводились в условиях АО птицефабрика «Волжская» Среднеахтубинского района Волгоградской области. Длительность научно-хозяйственного опыта на птице составила 17 недель (таблица 1). Яичная птица содержалась на протяжении опыта в клеточных батареях «BigDutchman».

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experiment scheme

Группа / Group	Количество голов / Number of chickens	Продолжительность опыта, недель / Duration of the experiment, weeks	Особенности кормления / Feeding features
Контрольная / Control	80	17	Основной рацион (ОР) с соей полножирной / Basic diet (BD) with full-fat soy
I-опытная / I-experienced	80	17	ОР с замещением 50% сои полножирной на белковый концентрат «Агроматик» / BD with the replacement of 50% of full-fat soybeans with the protein concentrate "Agromatic"
II-опытная / II-experienced	80	17	ОР с замещением 75% сои полножирной на белковый концентрат «Агроматик» / BD with the replacement of 75% of full-fat soybeans with the protein concentrate "Agromatic"
III-опытная / III-experimental	120	17	ОР с замещением 100% сои полножирной на белковый концентрат «Агроматик» / BD with the replacement of 100% full-fat soybeans with Agromatic protein concentrate

Птица, которая входила в контрольную группу, получала стандартный промышленный комбикорм с соей полножирной. Молодки I-опытной группы получали основной рацион, в котором 50% сои полножирной было замещено на белковый концентрат «Агро-Матик», II-опытной – на 75%, и III-опытной – полностью.

Питательность комбикормов, разработанных для птицы всех групп соответствовала требованиям к кроссу и рекомендациям по кормлению птицы, разработанным ВНИТИП.

На 100 г комбикормов для молодняка птицы всех подопытных групп на 1-7, 8-14 и 8-19 неделю выращивания приходилось обменной энергии 290-290,01 Ккал, 275-275,01 Ккал и 270,00-270,01 Ккал; сырого протеина – 19,99-20,55%, 15,50 – 15,92% и 16,00-16,42%; лизина – 1,10-1,20%, 0,70-0,77% и 0,75-0,82%; метионина – 0,45-0,46 %, 0,35% и 0,36%; кальция – 1,10-1,11%, 1,20-1,21% и 2,20-2,21% и фосфора – 0,80-0,81%, 0,97-0,98%, 0,70-0,71% соответственно.

Плотность посадки, фронт кормления и поения, параметры микроклимата в течение проведения научно-хозяйственного опыта для птицы всех подопытных групп были идентичными и соответствовали руководству по работе с птицей кросса «Хайсекс Браун» и методическим рекомендациям ВНИТИП.

Результаты и выводы. Перед проведением исследований на птице нами была проведена сравнительная оценка питательной ценности исследуемых кормов – сои полножирной и белкового концентрата «Агро-Матик» (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительный анализ химического состава исследуемых кормов, %

Table 2 – Comparative analysis of the chemical composition of the studied feeds, %

Показатель / Index	Соя полножирная / Soybeans are full-fat	Концентрат белковый «Агро-Матик» / Agro-Matic protein concentrate
Сухое вещество / Dry matter	90	88,29
Сырой протеин / Crude Protein	48	55,03
Сырой жир / Crude Fat	10,96	10,11
Сырая клетчатка / Crude fiber	4,20	3,07
Сырая зола / Crude ash	3,32	8,05
БЭВ / BEV	23,52	12,03

Анализ показал, что содержание сырого протеина и сырой золы в концентрате на 7,03% и 4,73% больше, чем у сои полножирной.

Содержание сырого жира, сырой клетчатки и БЭВ в сое полножирной составляло 10,96%, 4,20% и 23,52%, что выше, чем в концентрате, на 0,85%, 1,13% и 11,49% соответственно.

Сумма определяемых аминокислот в белковом концентрате составила 23,12%, что было выше, чем в сое, на 3,98%. В сое исследуемый показатель был на уровне 19,14% (рисунок 1).



Рисунок 1 – Содержание суммы определяемых аминокислот в исследуемых кормах, %

Figure 1 – Content of the amount of determined amino acids in the studied feeds, %

Живая масса яичной птицы является одним из важных контролируемых зоотехнических показателей при выращивании [7]. Результаты взвешиваний птицы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Живая масса молодняка кур, г ($M \pm m$) ($n=80$)

Table 3 – Live weight of young chickens, g ($M \pm m$) ($n=80$)

Возраст птицы, неделя / Bird age, weeks	Группа / Group			
	Контрольная / Control	I-опытная / I-experienced	II-опытная / II-experienced	III-опытная / III-experimental
1	60,31±0,26	60,54±0,41	60,37±0,38	60,41±0,29
4	275,94±3,60	278,39±4,07	283,37±3,85	289,13±4,28*
8	601,42±9,74	617,98±11,53	623,05±8,49	631,19±10,48*
16	1302,76±15,15	1318,95±18,28	1324,70±13,61	1330,53±17,70
17	1408,33±18,64	1420,46±22,79	1431,30±21,80	1440,04±25,19

Следует отметить, что положительные изменения по набору живой массы наблюдались уже с четвертой недели в опытных группах птицы по сравнению с контролем. Так, в 28 – дневном возрасте у птицы I-опытной группы живая масса составила 278,39 г, что выше контроля на 2,45 г (0,89%), II-опытной группы – 283,37 г, что лучше контроля на 7,43 г (2,69%) и III-опытной группы – 289,13 г что превалировало над контрольной группой на 13,19 г (4,78%).

К концу опыта живая масса молодок составляла 1420,46 г в I-опытной группе, 1431,30 г во II-опытной и 1440,04 г в III-опытной, что превосходило аналогов из контроля на 12,13 г, 22,97 г и 31,71 г или на 0,86%, 1,63 % и 2,25% соответственно.

Общий прирост живой массы молодок в I-, II- и III-опытной группах был выше, чем в контроле, на 0,88%, 1,70% и 2,34% (рисунок 2).



Рисунок 2 – Общий прирост живой массы молодок, г

Figure 2 – Total increase in live weight of pullets, g

Показатели крови отражают адекватность течения метаболических процессов в организме сельскохозяйственной птицы [3]. Они динамичны и могут изменяться под воздействием различных факторов [4]. В связи с этим нами были оценены морфологические и биохимические показатели крови, полученной от птицы в конце опыта, с целью оценки протекания метаболических процессов в организме под действием новых испытуемых рационов (таблица 4) [3, 4, 8].

Количество эритроцитов в крови I-опытной группы кур содержалось больше, чем у аналогов из контрольной группы, на $0,19 \times 10^{12}$ л, II-опытной на $0,23 \times 10^{12}$ л, а III-опытной – на $2,37 \times 10^{12}$ л. Повышение эритроцитов в крови подопытных кур говорит о лучшей интенсивности протекания процессов доставки кислорода к тканям и органам, стабилизации кислотно-щелочного баланса, регуляции иммунных процессов.

Повышение гемоглобина свидетельствует о более быстром обмене кислорода и углекислого газа между тканями и легкими в организме птицы опытных групп. Содержание гемоглобина в крови птицы подопытных групп варьировало в пределах от 75,13 г/л до 81,54 г/л. При

этом наблюдалось повышение уровня гемоглобина в крови кур-молодок опытных групп, так в I-опытной группе – на 5,25 г/л, во II-опытной группе – на 6,1 г/л и в III-опытной группе – на 6,41 г/л относительно контрольной группы или на – 6,99%, 8,11% и 8,53% соответственно.

Таблица 4 – Морфологические и биохимические показатели крови молодняка кур, (M±m) (n=5)

Table 4 – Morphological and biochemical parameters of the blood of young chickens, (M±m) (n=5)

Группа / Group	Показатель / Index						
	Эритроциты 10 ¹² /л / Erythrocytes 10 ¹² /l	Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	Общий белок, г/л / Total protein, g/l	Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	Холестерин, ммоль/л/ Cholesterol, mmol/l	P, ммоль/л / mmol/l	Ca, ммоль/л / mmol/l
Контрольная / Control	2,37±0,05	75,13±0,75	44,92±1,02	15,04±0,64	2,89±0,16	0,82±0,02	2,71±0,37
I-опытная / I-experienced	2,56±0,16	80,38±1,07**	46,13±1,37	15,45±0,93	2,92±0,19	0,86±0,03	2,89±0,47
II-опытная / II-experienced	2,60±0,70	81,23±0,62**	46,29±1,26	15,51±0,43	2,84±0,13	0,87±0,02	3,03±0,30
III-опытная / III-experimental	2,63±0,09*	81,54±1,04**	46,51±1,51	15,57±0,72	2,80±0,15	0,93±0,02*	3,12±0,41

По содержанию общего белка можно судить об уровне белкового обмена в организме [12]. Увеличение уровня общего белка в крови говорит об интенсивности обменных процессов в организме кур-молодок. В каждой опытной группе птицы произошли незначительные изменения в сторону увеличения, а именно, в I-опытной группе концентрация общего белка была на уровне 46,13 г/л, во II-опытной группе – 46,29 г/л и в III-опытной группе – 46,51 г/л, что было выше, чем в контрольной, группе на 1,21 г/л, 1,37 г/л и 1,59 г/л соответственно (рисунок 3). Это подтверждает, что применение в комбикормах белкового концентрата «Агро-Матик» способствует улучшению белкового обмена в организме птицы, что положительно сказывается в первую очередь на продуктивности молодняка птицы.

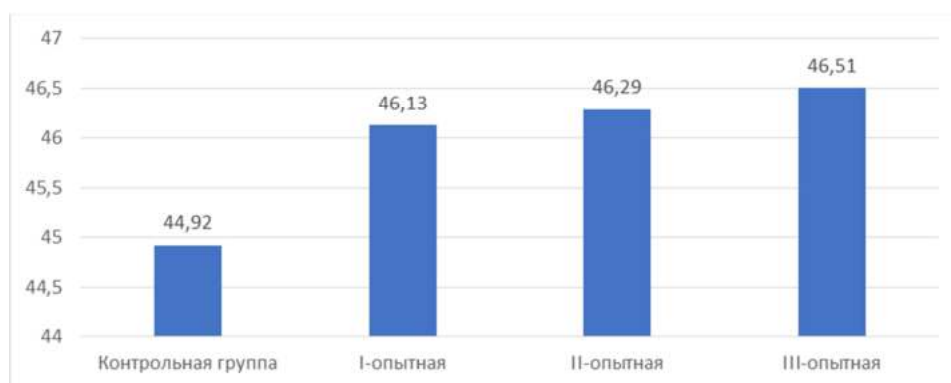


Рисунок 3 – Содержание общего белка в крови подопытных молодок, г/л

Figure 3 – Content of total protein in the blood of experimental pullets, g/l

Одним из важных биохимических показателей крови птицы по которому судят об адекватности течения углеводного обмена в организме является содержание глюкозы. Известно, что глюкоза является основным углеводом плазмы крови и энергетическим материалом для организма птицы. В крови молодок контрольной группы содержание глюкозы составило 15,04 ммоль/л. В I-опытной группе птицы данный показатель был выше, чем в контрольной, на 0,41 ммоль/л, во II-опытной – на 0,47 ммоль/л и в III-опытной – на 0,53 ммоль/л, или на 2,73%, 3,12% и 3,52% соответственно.

В крови подопытной птицы содержание холестерина было следующим: в контрольной группе – 2,89 ммоль/л, в I-опытной – 2,92 ммоль/л, во II-опытной – 2,84 ммоль/л и в III-опытной – 2,80 ммоль/л. Так, следует отметить, что наблюдалось повышение холестерина в I-опытной группе – на 0,03 ммоль/л или 1,04%; по отношению к контрольной группе. Снижение холестерина произошло во II- и III-опытной группах молодок по сравнению с контролем соответственно на 0,03 ммоль/л, 0,05 ммоль/л и 0,09 ммоль/л или на 1,73% и (рисунок 4).

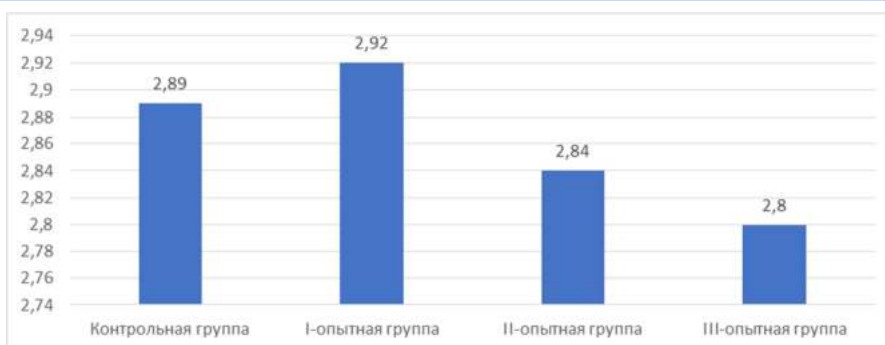


Рисунок 4 – Содержание холестерина в крови опытной птицы, ммоль/л
Figure 4 – Cholesterol content in the blood of an experimental bird, mmol/l

Минеральный обмен – это процесс обмена минералов в организме птицы, необходимых для поддержания здоровья и нормального функционирования всех органов и систем [9]. Этот процесс включает в себя усвоение, транспортировку, распределение и выведение минеральных веществ в организме. Нами было изучено содержание кальция и фосфора в крови птицы. Кальция в крови птицы I-опытной группы содержалось 2,89 ммоль/л, что было выше контроля на 0,18 ммоль/л, II-опытной – 3,03 ммоль/л, что было выше контроля на 0,32 ммоль/л, и III-опытной – 3,12 ммоль/л и превосходило контроль на 0,41 ммоль/л. Концентрация фосфора в крови птицы I-, II- и III-опытной групп была выше, чем в контроле, соответственно на 0,04 ммоль/л, 0,05 ммоль/л и 0,11 ммоль/л (рисунок 5).

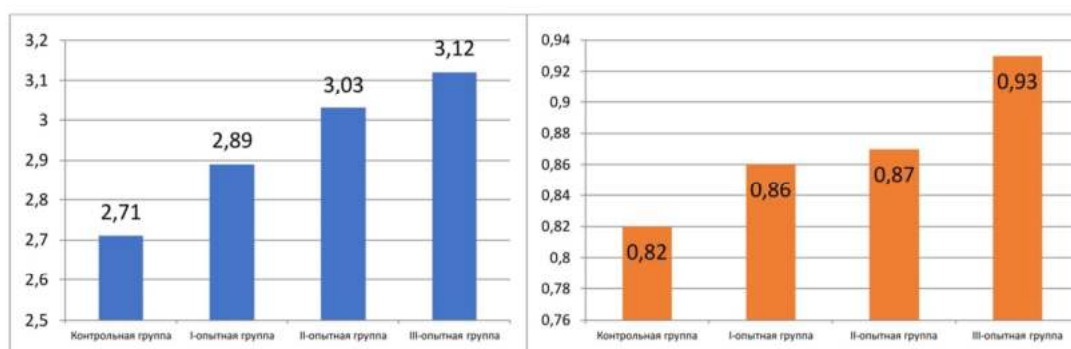


Figure 5– Calcium and phosphorus content in the blood of experimental pullets, mmol/l

Заключение. Таким образом, уровень обменных процессов в организме птицы опытных групп, получавшей различные уровни ввода белкового концентрата «Агро-Матик» в комбикорм, был выше по сравнению с молодками из контроля.

Так, общий прирост живой массы молодок за 17 недель выращивания составил в I-опытной группе – 1420,46 г, во II-опытной группе – 1431,30 г и в III-опытной группе – 1440,04 г, что выше, чем в контроле, соответственно на 11,90 г или 0,88 %, 22,91 г, или 1,70% и 31,61 г или 2,34%.

В крови молодняки кур I-, II- и III-опытной групп было отмечено несколько большее содержание эритроцитов на $0,19 \times 10^{12}$ л, $0,23 \times 10^{12}$ л, $0,26 \times 10^{12}$ л или 0,004%, 0,005%, 0,006 %; гемоглобина на 5,25 г/л, 6,1 г/л, 6,41 г/л или 3,94%, 4,58%, 4,81%; общего белка на 1,21 г/л, 1,37 г/л, 1,59 г/л или 0,54%, 0,61%, 0,71%; глюкозы на 0,41 ммоль/л, 0,47 ммоль/л и 0,53 ммоль/л или 0,062%, 0,070%, 0,080%; , кальция на 0,18 ммоль/л, 0,32 ммоль/л, 0,41 ммоль/л, или 0,004%, 0,009%, 0,011%; и фосфора по сравнению с контрольными аналогами соответственно на 0,04 ммоль/л, 0,05 ммоль/л и 0,11 ммоль/л, или 0,00033%, 0,00041%, 0,00090%.

Также наблюдалось повышение уровня холестерина в I-опытной группе на 0,03 ммоль/л или на 1,04%. Во II-, III-опытной группах наблюдалось снижение на 0,05 ммоль/л, 0,08 ммоль/л или на 1,73%, 3,12%.

На основании вышеизложенного рекомендуем в кормлении молодняки кур яичного кросса «Хайсекс Браун» использовать белковый концентрат «Агро-Матик».

Conclusions. Thus, the level of metabolic processes in the body of poultry from the experimental groups, which received various levels of input of the Agro-Matic protein concentrate into the feed, was higher compared to pullets from the control group.

Thus, the total increase in live weight of pullets over 17 weeks of rearing was 1420.46 g in experimental group I, 1431.30 g in experimental group II and 1440.04 g in experimental group III, which is higher than in the control, respectively, by 11.90 g or 0.88%, 22.91 g or 1.70% and 31.61 g or 2.34%.

In the blood of young chickens of the I-, II- and III-experimental groups, a slightly higher content of erythrocytes was noted at 0.19×10^{12} l, 0.23×10^{12} l, 0.26×10^{12} l or 0.004%, 0.005%, 0.006%; hemoglobin by 5.25 g/l, 6.1 g/l, 6.41 g/l or 3.94%, 4.58%, 4.81%; total protein by 1.21 g/l, 1.37 g/l, 1.59 g/l or 0.54%, 0.61%, 0.71%; glucose by 0.41 mmol/l, 0.47 mmol/l and 0.53 mmol/l or 0.062%, 0.070%, 0.080%; calcium by 0.18 mmol/l, 0.32 mmol/l, 0.41 mmol/l or 0.004%, 0.009%, 0.011%; and phosphorus compared to control analogues by 0.04 mmol/l, 0.05 mmol/l and 0.11 mmol/l, respectively, or 0.00033%, 0.00041%, 0.00090%.

There was also an increase in cholesterol levels in the first experimental group by 0.03 mmol/l or 1.04%. In experimental groups II and III, a decrease of 0.05 mmol/l, 0.08 mmol/l or 1.73%, 3.12% was observed.

Based on the above, we recommend using the Agro-Matic protein concentrate when feeding young chickens of the Hisex Brown egg cross.

Библиографический список

1. Загарин А. Ю., Буряков Н. П., Заикина А. С. и др. Биохимический состав крови цыплят-бройлеров при скормливании экстракта из древесины сладкого каштана. Птицеводство. 2022. № 4. С. 57-63.
2. Фисинин В. И., Егорова Т. А., Егоров И. А. и др. Влияние комбикормов растительного типа с разными источниками белка и аминокислот на морфологические показатели яиц и содержание свободных аминокислот в сыворотке крови мясных кур в начале яйцекладки. Птицеводство. 2022. № 11. С. 54-59.
3. Самофалова О. В., Карапетян А. К., Николаев С. И., Чернышков А. С. Влияние нетрадиционного кормового сырья на морфологические и биохимические показатели крови бройлеров. Птицеводство. 2023. № 1. С. 29-33.
4. Нищенко Н. П., Стовецкая Л. С., Порошинская О. А., Емельяненко А. А. Гематологические показатели крови и яйценоскость перепелок японской породы под влиянием комплекса аминокислот и витамина Е. 2015. № 1(118). С. 26-29.
5. Даниленко И. Ю., Шаповалов С. О., Корнилова Е. В. Гематологические и биохимические показатели крови сельскохозяйственной птицы под влиянием антистрессовой добавки. Известия Горского государственного аграрного университета. 2022. Т. 59-1. С. 45-52.
6. Николаев С. И., Карапетян А. К., Дмитриева А. А., Воронцова Е. С. Реализация генетического потенциала продуктивности у кур яичного кросса Декалб Уайт. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 364-370.
7. Фисинин В. И., Абдулхаликов Р. З., Савхалова С. Ч., Малородов В. В. Эффективность воздействия антиоксиданта на зоотехнические и гематологические показатели и состояние печени бройлеров. Птицеводство. 2021. № 6. С. 40-45.
8. Юрина Н. А., Тлецерук И. Р. Анализ гематологических показателей цыплят-бройлеров при скормливании им комбикормов с экструдированным сорго. Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2016. Т. 5. № 1. С. 152-157.
9. Madej Jan P., et al. Impact of early posthatch feeding on the immune system and selected hematological, biochemical, and hormonal parameters in broiler chickens. Poultry Science. 2024. V. 103. I. 3. Pp. 24-48.
10. Rostamkhani A. R., Shahir M. H., Lemme A., Anarkooli I. J., Abdi Z. Impact of early feeding of highly available carbohydrate source on subsequent growth performance, carcass traits, blood biochemical parameters, and intestinal morphology of broilers. Journal of Applied Poultry Research. 2024. V. 33. I. 2. P. 100399.
11. Tomaszewska E., et al. β -Hydroxy- β -methylbutyrate: A feed supplement influencing performance, bone metabolism, intestinal morphology, and muscle quality of laying hens: a preliminary one-point study. Poultry Science. 2024. V. 103. I. 5. P. 103597.
12. Omoikhoje S. O., Eguaoje S. A., Ekpenisi F., Osayande E., Edonije J. Haematology and serum biochemical indices of broiler chickens fed varying levels of indomie waste meal based diet. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research. 2020. V. 7. Pp. 251-260.

References

1. Zagarin A. Yu., Buryakov N. P., Zaikina A. S., et al. Biochemical Composition of Broiler Chickens' Blood When Feeding Sweet Chestnut Wood Extract. Poultry. 2022. № 4. Pp. 57-63.
2. Fisinin V. I., Egorova T. A., Egorov I. A., et al. Effect of plant-type mixed feeds with different sources of protein and amino acids on the morphological parameters of eggs and the content of free amino acids in the blood serum of meat chickens at the beginning of egg-laying. Poultry. 2022. № 11. Pp. 54-59.
3. Samofalova O. V., Karapetyan A. K., Nikolaev S. I., Chernyshkov A. S. Effect of non-traditional feed raw materials on morphological and biochemical indicators of broiler blood. Poultry. 2023. № 1. Pp. 29-33.
4. Nishchemenko N. P., Stovetskaya L. S., Poroshinskaya O. A., Emelianenko A. A. Hematological Blood Parameters and Egg Production in Japanese Quail Under the Influence of Amino Acid and Vitamin E Complex. 2015. № 1 (118). Pp. 26-29.
5. Danilenko I. Yu., Shapovalov S. O., Kornilova E. V. Hematological and Biochemical Indicators of Poultry Blood under the Influence of an Anti-Stress Additive. Proceedings of the Gorsky State Agrarian University. 2022. V. 59-1. Pp. 45-52.
6. Nikolaev S. I., Karapetyan A. K., Dmitrieva A. A., Vorontsova E. S. Realization of the Genetic Potential of Productivity in Dekalb White Egg Cross Chickens. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 2 (70). Pp. 364-370.
7. Fisinin V. I., Abdulkhalikov R. Z., Savkhalova S. Ch., Malorodov V. V. Efficacy of antioxidant action on zootechnical and hematological indicators and the state of the liver in broilers. Poultry. 2021. № 6. Pp. 40-45.

8. Yurina N. A., Tleceruk I. R. Analysis of hematological parameters of broiler chickens when feeding them mixed feeds with extruded sorghum. Collection of scientific works of the North Caucasian Research Institute of Animal Husbandry. 2016. V. 5. № 1. Pp. 152-157.
9. Madej Jan P., et al. Impact of early posthatch feeding on the immune system and selected hematological, biochemical, and hormonal parameters in broiler chickens. Poultry Science. 2024. V. 103. I. 3. Pp. 24-48.
10. Rostamkhani A. R., Shahir M. H., Lemme A., Anarkooli I. J., Abdi Z. Impact of early feeding of highly available carbohydrate source on subsequent growth performance, carcass traits, blood biochemical parameters, and intestinal morphology of broilers. Journal of Applied Poultry Research. 2024. V. 33. I. 2. P. 100399.
11. Tomaszewska E., et al. β -Hydroxy- β -methylbutyrate: A feed supplement influencing performance, bone metabolism, intestinal morphology, and muscle quality of laying hens: a preliminary one-point study. Poultry Science. 2024. V. 103. I. 5. P. 103597.
12. Omoikhoje S. O., Eguaoje S. A., Ekpenisi F., Osayande E., Edonije J. Haematology and serum biochemical indices of broiler chickens fed varying levels of indomie waste meal based diet. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research. 2020. V. 7. Pp. 251-260.

Информация об авторах

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Дронов Роман Николаевич, аспирант кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: boyboy5858@mail.ru

Карапетын Анжела Кероповна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Даниленко Ирина Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: taranova_15@mail.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Шкаленко Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: v.shkalenko@volgau.ru

Author's Information

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of "Feeding and Breeding of Farm Animals", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Dronov Roman Nikolaevich, postgraduate student of the Department of Feeding and Breeding of Farm Animals, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: boyboy5858@mail.ru

Karapetyan Anzhela Keropovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Feeding and Breeding of Farm Animals, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Danilenko Irina Yurievna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Feeding and Breeding of Farm Animals, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: taranova_15@mail.ru

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Feeding and Breeding of Farm Animals, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Shkalenko Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Feeding and Breeding of Farm Animals, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: v.shkalenko@volgau.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-27

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SOUTHERN REED IN FODDER FOR CARP GROWN IN RECIRCULATING WATER SUPPLY INSTALLATIONS

¹Skokov R. Yu., ²Randelin D. A., ²Soloviev A. V., ²Tomilenko K. A.

¹Volzhsky Institute of Economics, Pedagogy and Law
Volzhsky, Volgograd region, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: rskokov@mail.ru

Received 30.01.2024

Submitted 22.04.2024

The research was carried out as part of the implementation of a scientific project under Agreement No. 1 dated December 14, 2022 with the financial support of the Administration of the Volgograd Region

Summary

The article presents conclusions about the effect of feed based on the use of southern reed on cyprinid fish. The results of the conducted studies indicate the effectiveness and positive effect of feed from southern cane on the growth rate of herbivorous fish.

Abstract

Introduction. At the present stage of commercial fish farming, due to rising prices for imported highly productive feed and a shortage of components for the production of domestic feed, pressing issues for the development of aquaculture is the involvement in feed production of inexpensive local non-traditional types of raw materials to intensify the cultivation of the most affordable herbivorous fish species for the population.

Object. The object of the study is feed with different contents of southern reed. **Materials and methods.** The study was conducted on the basis of the research center "Breeding valuable sturgeon breeds" of the Volgograd State Agrarian University. **Results and conclusions.** Based on research, the feasibility of producing feed based on southern reed for herbivorous fish grown in closed water supply systems has been substantiated. Within the framework of this study, a mechanism for a design solution has been proposed for the removal of rapidly renewable biomass of southern reed from water bodies, using it as feed, instead of disposal as waste of class V. There has been successful testing of the production of feed from southern reed at a feed mill at a price of 30 rubles per kilogram. Promising aspects for future research are also identified, which are related to the development of feed production technology with a certain immersion rate and water resistance, the choice of optimal feeding methods and norms depending on the age and type of herbivorous fish, as well as the testing of feed mixtures in various aquaculture conditions.

Keywords: carp, carp feeding, fish products, southern reeds, fish farming, herbivorous fish.

Citation. Skokov R. Yu., Randelin D. A., Soloviev A. V., Tomilenko K. A. Evaluation of the effectiveness of southern reed in fodder for carp grown in recirculating water supply installations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 231-241 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-27.

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 639.3.043.2

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРОСТНИКА ЮЖНОГО В КОРМАХ ДЛЯ КАРПА,
ВЫРАЩИВАЕМОГО В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

¹Скоков Р. Ю., доктор экономических наук, ректор

²Ранделин Д. А., доктор биологических наук, профессор

²Соловьев А. В., кандидат технических наук

²Томиленко К. А., научный сотрудник

¹ГБОУ ВО «Волжский институт экономики, педагогики и права»

г. Волжский, Волгоградская область, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

**Исследование проведено в рамках реализации научного проекта по Соглашению
№ 1 от 14 декабря 2022 года при финансовой поддержке Администрации Волгоградской области**

Актуальность. На современном этапе товарного рыбоводства в связи с ростом цен на импортные высокопродуктивные комбикорма и дефицита компонентов для производства отечественных кормов актуальными вопросами для развития аквакультуры является вовлечение в кормопроизводство недорогих местных нетрадиционных видов сырья для интенсификации выращивания наиболее доступных по цене населению растительноядных видов рыб. **Объект.** Объектом исследования являются комбикорма с разным содержанием тростника южного. **Материалы и методы.** Исследование проводилось на базе научно-исследовательского центра «Разведение ценных пород осетровых» Волгоградского государственного аграрного университета. **Результаты и выводы.** На основе исследований обоснована целесообразность производства кормов на основе тростника южного для растительноядных рыб, выращиваемых в установках замкнутого водоснабжения. В рамках данного исследования предложен механизм проектного решения по удалению быстро возобновляемой биомассы тростника южного из водных объектов, с использованием ее в качестве кормов, вместо утилизации в виде отходов класса V. Отмечается успешная апробация производства кормов из тростника южного на комбикормовом предприятии по цене 30 рублей за килограмм. Также обозначены перспективные аспекты для будущих исследований, которые связаны с разработкой технологии производства кормов с определенной скоростью погружения и водостойкостью, выбором оптимальных способов и норм кормления в зависимости от возраста и вида растительноядных рыб, а также апробацией кормовых смесей в различных условиях аквакультуры.

Ключевые слова: карп, кормление карпа, рыбная продукция, тростник южный, выращивание рыбы, растительноядные рыбы.

Цитирование. Скоков Р. Ю., Ранделин Д. А., Соловьев А. В., Томиленко К. А.. Оценка эффективности тростника южного в кормах для карпа, выращиваемого в установках замкнутого водоснабжения. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 231-241. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-27.

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. Обширные заросли тростника, которые встречаются во многих районах России, оказывают значительное негативное влияние [12]. В особенности, в Нижнем Поволжье эти заросли становятся источником таких проблем, как ландшафтные пожары и ухудшение условий для выращивания сельскохозяйственных культур на территориях, где данный сорняк произрастает, а его удаление практически невозможно. Волго-Ахтубинская пойма столкнулась с основной проблемой, связанной с пожарами, вызванными тростником.

С целью продвижения использования южного тростника в кормах открывается возможность формирования нового рынка экологически чистого и экономически выгодного сырья для производства корма. Такой подход обладает потенциалом для достижения не только экономических, но и экологических и социальных результатов. В особенности использование тростника в качестве корма для растительноядных рыб, таких как карп, белый амур, толстолобик и сазан, которые естественным образом потребляют данный вид пищи, является перспективным. Это позволяет не только увеличить объем продукции в животноводстве и аквакультуре, но и привести к очистке заросших водных объектов и сельскохозяйственных угодий, а также сократить количество пожаров.

Таким образом, решение указанной проблемы обширных тростниковых зарослей может принести значительные преимущества, отражающиеся в улучшении состояния окружающей среды и экономических результатов. Необходимо отметить, что эти мероприятия включают разработку и внедрение технологических решений для эффективной утилизации и использования тростника.

В 2022 г. исследователи Волгоградского ГАУ выиграли грант Администрации Волгоградской области на реализацию научного проекта по производству комбикормов для рыбы из тростника южного – высокопродуктивного сорняка [11]. В 2023 году из тростника южного было изготовлено несколько экспериментальных партий кормов для рыбы, выращиваемой в условиях установок замкнутого водоснабжения.

Растительноядные виды рыб являются наиболее доступными по цене для населения и пользуются стабильным спросом [11].

Биохимические особенности мышечной ткани прудовых, растительноядных рыб (карпа, толстолобика, белого амура, сазана) подходят для рационального и максимального использования, как в свежем виде, так и при выработке продуктов массового потребительского спроса. Следует отметить и хорошие товарные качества карпа. Он неприхотлив, легко приспосабливается к изменениям гидрохимического режима, кормовой базы и других факторов среды [4]. Карп содержит много витаминов группы В. В жире толстолобика кислот группы омега-3 больше, чем у горбуши. Коллаген, входящий в состав многих кремов и гелей для лица, получается из кожи толстолобика. Белый амур считается нежирной рыбой и пользуется большим спросом в ресторанах. У амура белое мясо, жирное и вкусное, а большая и жирная печень используется в рецептах, как и мясо.

Разработка и производство доступных по цене кормов для растительноядных рыб открывает новые перспективы для повышения их разведения и объемов производства.

Целью данного исследования является разработка методов использования южного тростника в качестве основного компонента кормов специально для карпа, толстолобика, белого амура и сазана.

Рассмотрим опыт изготовления кормов для карповых видов рыб.

Наиболее известными и популярными в кормопроизводстве для рыб являются корма Ю. А. Желтова.

Особенно востребованным является продукционный комбикорм «16-80», созданный специально для выращивания молоди сеголеток карпа. Согласно его рецептуре, корм содержит 37% белка и 6% жира. Он позволяет достичь товарной массы рыбы, начиная от 40 г [6].

Еще одним из популярных продукционных комбикормов для выращивания товарного карпа в прудовых хозяйствах является комбикорм с названием «СБС-РЖ». Этот корм содержит 23% белка и 3% жира. Он специально разработан для обеспечения оптимального роста и развития карпа [5]. Корма содержат традиционные компоненты: кормовые дрожжи, рыбную муку, шрот, пшеницу, ячмень, отруби, аминокислоты, мел, премиксы и др.

А. Е. Аринжанов и др. разработали корм для сеголеток карпа [2], содержащий рыбную муку, мясокостную муку, шрот, растительное масло, муку пшеницы и премикс ПМ-2 с наночастицами комплекса железо-кобальт. Корм экструдирован и высушивается.

В работе Кулаченко В. П. и Литвинова Ю. Н. был предложен новый метод получения функционального экспандированного аквакорма для карповых рыб [8]. Этот метод позволяет повысить привес и интенсивность роста молоди рыбы. Основное отличие заключается в следующем: зерно пшеницы и люпина кормового измельчается до размера частиц 1,0-1,5 мм и затем перемешивается до достижения однородного состояния. Полученная смесь зерна увлажняется до 28-30% и преобразуется в тесто. Тесто разрезается на полоски и формируется в гранулы диаметром 3,5 мм. Готовые гранулы сушатся до влажности 10-12% и упаковываются. Кроме того, были определены соотношения компонентов в смеси для сеголеток карповых рыб следующим образом: пшеница – 66,7%, люпин кормовой – 33,3%. Недостатком данного способа получения аквакорма является высокая трудоемкость и низкая автоматизация резки теста на полоски и гранулы диаметром 3,5 мм. Формируемые данным способом гранулы низкого качества (разного размера, недостаточной плотности).

Ученые, включая Б. Д. Арефьева и его коллег, провели исследование, направленное на создание специального корма для сеголеток карпа [1]. В ходе исследования были определены оптимальные компоненты, состав которых следующий: 12,5-15,0% белково-витаминного концентрата, 4,5-5,0% рыбной муки, 12,5-15,0% верхового сфагнового торфа со степенью разложения 13-18% и остальное – гидролизные дрожжи. Эти компоненты тщательно смешиваются и доводятся водой до влажности 60-70%. Полученная смесь пропускается через мясорубку МС-2-70. Гранулы затем подсушиваются на стеллажах-сушилках при температуре 30-40°C в течение 12 часов. Высушенный корм укладывается в мешки и сохраняется в прохладном помещении до использования.

Однако следует отметить, что недостатком этого корма является использование дорогостоящих компонентов, таких как рыбная мука и верховой сфагновый торф со степенью разложения 13-18%. Кроме того, гранулы, полученные с помощью мясорубки, имеют низкое качество - они разного размера, недостаточно плотные, содержат большое количество отсева.

В. Н. Василенко и др. разработали новый функциональный экспандированный аквакорм для карповых рыб [3]. Этот корм обладает рядом характеристик, которые делают его особенно подходящим для сеголеток карповых рыб. Его основные компоненты состоят из следующих ингредиентов: 27,0% пшеницы щуплой, 12,0% люпина кормового, 14,7% шрота соевого, 16% муки рыбной, 15,0% отрубей пшеничных, 0,3% известняковой муки, 5,0% дрожжей кормовых, 1,0% мела кормового, 1,0% премикса, 8,0% фосфатиднобелкового концентрата. Как часть процесса производства этого корма, пшеницу щуплую и люпин кормовой измельчают до размера частиц 1,0-1,5 мм. Затем происходит просеивание этих ингредиентов и их смешивание со шротом соевым, мукой рыбной, отрубями пшеничными, известняковой мукой, дрожжами кормовыми, мелом кормовым и премиксом. Полученные смеси тщательно перемешиваются до достижения однородного состояния и увлажняются до 28-30%. Затем они выдерживаются в бункере в течение 4 часов для выравнивания влажности по всему объему. После этого осуществляется их обработка в экспандере при температуре продукта перед кольцевым зазором в диапазоне 393-413 К и давлении в предматричной зоне экспандера в пределах 5-8 МПа. Полученные хлопья проходят просевку, а затем дражируются фосфатиднобелковым концентратом в тарельчатом грануляторе. После этого они подсушиваются в ленточной сушилке до влажности 10% и расфасовываются. Для сеголеток карповых рыб диаметр хлопьев составляет 3,5-мм.

Однако корм имеет свой недостаток, который заключается в использовании дорогостоящих компонентов, таких как люпин кормовой, шрот соевый, рыбная мука, премикс и фосфатиднобелковый концентрат. Дополнительно, метод производства этого корма также требует значительных затрат, включая выдерживание в бункере для выравнивания влажности, экспандирование, просеивание, дражирование и подсушивание.

А. Л. Сальников и его коллеги разработали инновационную кормовую смесь для карповых рыб, основанную на тростнике южном [10], с содержанием белка 31%. Используя местные растительные ресурсы, включая тростник южный (70%), рогоз узколистный (20%) и лофант анисовый (10%), они создали базовую смесь путем мельчения и обработки. Затем к этой смеси добавляется подсолнечный шрот, кормовые дрожжи, рыбная мука, трикальцийфосфат и премикс ПМ-2. Однако не было представлено информации об источниках и способах получения лофанта анисового, известного также как многоколосник фенхельный, который является медоносным, эфиромасличным, лекарственным и декоративным растением, но не широко выращивается в России в кормовых целях. Кроме того, использование дорогостоящих компонентов, таких как рыбная мука, трикальцийфосфат и премикс ПМ-2, увеличивает затраты на производство данной кормовой смеси.

Исследователями Д. К. Магзановой, Н. А. Каниевой и Г. Ф. Журавлевой были созданы новые корма для эксперимента на основе предварительно высушенных молодых побегов тростника. Этот тростник был собран за два месяца до цветения и измельчен на дробилке ДКУ – 01 Фермер ООО «Уралспецмаш». Затем побеги замачивались в растворе БАВ (биологически активное вещество) в соотношении 1:1 на протяжении суток [9]. Для тестирования этих кормов использовали сеголеток белого амура, которых содержали в аквариумах объемом 100 литров с постоянной аэрацией воды с помощью мембранного компрессора. Эксперименты проводились в двух вариантах: в первом варианте рыбам скормили тростник в чистом виде, а во втором варианте использовали тростник с БАВ. Данные корма являются экспериментальными, и не предусматривают промышленную технологию производства.

В отношении зарубежных стран экспериментальные корма разработаны и успешно проверены в Китае [16]. Они были изготовлены путем предварительного измельчения тростника южного с помощью соломорезки, затем высушивания при температуре 56°C и окончательного измельчения до состояния порошка.

Экспериментальный корм без тростника южного, с содержанием белка 32,61% и жира 4,82%, имеет следующий состав: 30% пшеницы, 30% соевой муки, 3% рыбной муки, 26% рапсового шрота, 2,5% Са, 2% карбоксиметилцеллюлозы, 0,15% хлорида холина, 1,35% бентонитовой глины, 1% витаминного премикса, 1% минерального премикса, 3% соевого масла.

Тростниковый корм, в котором доля тростника южного составляет 50%, имеет следующий состав: 15% пшеницы, 15% тростника южного, 30% соевой муки, 3% рыбной муки, 26% рапсового шрота, 2,5% Са, 2% карбоксиметилцеллюлозы, 0,15% хлорида холина, 1,35% бентонитовой глины, 1% витаминного премикса, 1% минерального премикса, 3% соевого масла. В готовом корме содержится 33,10% белка и 4,60% жира.

Экспериментальный рацион, основанный на 100% тростника южного, содержит следующие питательные вещества: 30% тростника южного, 30% соевой муки, 3% рыбной муки, 26% рапсового шрота, 2,5% Са, 2% карбоксиметилцеллюлозы, 0,15% хлорида холина, 1,35% бентонитовой глины, 1% витаминного премикса, 1% минерального премикса, 3% соевого масла. Содержание белков и жиров составляет 33% и 4,77% соответственно.

На основании проведенного анализа российских и международных источников, отражающих опыт промышленного производства и экспериментальных разработок кормов для растительноядных рыб, приняли к выводу, что создание кормов на основе тростника южного является перспективной задачей.

Материалы и методы. Из тростника южного урожая 2023 гг. на местном комбикормовом производстве ООО «ПК «Фабрика белковых кормов» (р.п. Городище) изготовлены партии всех видов кормов для рыб. Для этого была использована надводная часть тростника южного, которая была скошена в фазе до цветения. В этот момент молодые побеги, листья и стебли тростника имели наивысшую питательную ценность.

Во влажном виде тростник южный измельчался с помощью дробилки роторной с ситом 3 мм. Отдельно мясокостная мука, подсолнечный жмых, дрожжи кормовые (гидролизные) также измельчались с помощью дробилки роторной с ситом 3 мм. Затем в определенной в ходе взвешивания пропорции (% от абс. сух. в-ва) уже совместно по-

дробленый тростник южный (50%) и смесь мяскокостной муки, подсолнечного жмыха и дрожжей кормовых (гидролизных) (50%) повторно прогонялись в дробилке роторной с ситом 3 мм и подавались для смешивания в смеситель. После смешивания кормовых ингредиентов производилось гранулирование смеси на грануляторе, создающем гранулы размером от 2 до 10 мм, подходящие для различных видов рыб в зависимости от их возраста и размера. Затем гранулы подвергались сушке в специальном устройстве до достижения влажности не более 13,5%. После этого происходило просеивание и упаковка готовых гранул. Гранулирование кормовой смеси способствует получению гранул высокого качества. В процессе гранулирования и сушки кормовых смесей происходит гидротермическая обработка, которая повышает питательную ценность корма. Этот процесс также улучшает органолептические свойства, продлевает срок годности и уменьшает потери во время транспортировки и хранения.

Много проблем возникает в связи с усвоением сухих комбикормов. Белки и жиры усваиваются хорошо, если агрегатное состояние корма позволяет пищеварительным сокам проникать в пищевые частицы. При изготовлении кормов сухие ингредиенты перемалываются, затем подвергаются влажному или сухому прессованию. Проникновение соков в частицы зависит от их свойств и тонины помола. Более тонкий помол способствует увеличению поверхности контакта частиц с молекулами ферментов [13].

Полученные тростниковые гранулы отличаются высокой водостойкостью, плотностью, скоростью погружения, питательной ценностью за счет физиологически свойственной растительной рыкам в природе пищи в виде наземной части тростника южного. Прудовое рыбоводство характеризуется высокой степенью использования всех компонентов кормовой базы водоемов — фитопланктона, зоопланктона, бентоса и водной растительности [7].

Как правило, в садках и УЗВ выращивают ценные и дорогостоящие виды рыб, такие как осетровые и форель, что вероятнее всего может привести к экономическому процветанию предприятия. Однако, на наш взгляд, для выращивания в садках подходит и белый амур. Получение недорогих кормов на основе тростника южного, подходящих для садков и УЗВ, открывает перспективы для получения товарной продукции из толстолобика, карпа и сазана.

Апробация в кормлении прудовых рыб проведена в условиях УЗВ НИЦ «Разведение ценных пород осетровых» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ в период с 25.08.2023-25.10.2023 гг.

Для испытания кормов для рыб в условиях УЗВ в научно-исследовательском центре ВолГАУ создан специализированный экспериментальный цех по речной рыбе, где проводились испытания тростниковых кормов для рыб семейства карповых.

Для проведения эксперимента были сформированы 4 группы по 15 особей молоди карпа в каждой.

При выращивании рыба содержалась в бассейнах УЗВ объемом 1,5 м³. Контрольные взвешивания проводились согласно общепринятым методикам, по результатам которых учитывался еженедельный, абсолютный и относительный прирост, а также сохранность групп. Контроль гидрохимического состава воды проводился ежедневно.

Все подопытные группы получали корм четыре раза в сутки. Норма выдачи корма корректировалась ежемесячно согласно результатам взвешиваний. Контрольная группа потребляла стандартный импортный полнорационный комбикорм. Для опытных групп I и II использовался корм из тростника южного и тростника южного с пшеницей соответственно. Группа III получала полнорационный корм, предназначенный для выращивания растительноядных рыб семейства карповых в условиях установок замкнутого водоснабжения. Условия содержания и кормления рыб во всех группах были одинаковы.

В питании карпа углеводы растительных кормов являются основным источником энергии. При недостатке углеводов и жиров в питании организм вынужден использовать значительную часть белка на энергетические потребности. Количество и качество углеводов в рационе и степень их переваримости во многом зависят от эффективности использования белка на рост рыб [14].

Таблица 1 – Состав и содержание питательных веществ в кормах на основе тростника южного, % сухого вещества

Table 1 – Composition and content of nutrients in feeds based on southern reed, % of dry matter

Ингредиенты / Ingredients	Содержание, % / Content, %			
	Контрольная группа / Control group	Опытная группа I / Experimental group I	Опытная группа II / Experimental group II	Опытная группа III / Experimental group III
Тростник южный / Southern reed		100	50	50
Пшеница / Wheat			50	
Подсолнечный жмых / Sunflower cake				25
Соевая мука / Soybean flour	3			
Рыбная мука / Fishmeal	59	3		
Гемоглобиновая мука / Hemoglobin flour	5			
Мясокостная мука / Meat and bone meal				10
Пшеничная мука / Wheat flour	19			
Дрожжи кормовые / Fodder yeast	6			15
Рыбий жир / Fish oil	7			
Витаминный премикс / Vitamin premix	1			
Итого / Total	100	100	100	100
Сырой протеин, % / Crude protein, %	45,9	11,0	13,5	30,0
Сырой жир, % / Crude fat, %	15,6	3,0	3,4	6,2

Результаты и обсуждение. Результаты исследований показали, что включение в полнорационный комбикорм тростника южного способствовало повышению интенсивности роста и развития молоди карповых рыб.

Таблица 2 – Рыбоводно-биологические показатели выращивания карпа

Table 2 – Fish-breeding and biological indicators of carp cultivation

Показатели / Indicators	Контрольная группа / Control group	Опытная группа I / Experimental group I	Опытная группа II / Experimental group II	Опытная группа III / Experimental group III
Начальная масса, г / Initial weight, g	60,3	60,1	60,2	60,1
Конечная масса, г / Final weight, g	119,5	90,8	91,6	110,4
Абсолютный прирост, г / Absolute growth, g	59,2	30,7	31,4	50,3
Прирост, % на гол / Growth, % per goal	3,94	2,04	2,09	3,35
Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g	0,95	0,49	1,47	1,78
Среднесуточный прирост, г/гол / Average daily gain, g/head	0,06	0,03	0,09	0,11
Выживаемость, % / Survival rate, %	80	100	100	92

По окончании исследования было установлено, что средняя масса карпов в опытных группах I, II и III оказалась меньше, чем в контрольной группе. Масса различалась на 29 г или 24,4%, 28 г или 23,4% и 9 г или 7,6% соответственно. Кроме того, среднесуточный

прирост карпов в группе III был выше, чем у контроля и аналогов I и II опытных групп, соответственно. Разница составляла 87%, 263% и 21%. Абсолютный прирост наибольший в контрольной группе 59,2 г. Она выше соответственно на 93%, чем в I группе; 89%, чем во II группе; 18%, чем в III группе

Показатель выживаемости карпов в опытных группах I и II одинаковый и составляет 100%. Процент выживаемости различался на 20% и 8% соответственно. В сравнении с кормами в опытной группе III и контрольной группе сохранность поголовья составила 92% и 80%. Процент гибели в контрольной группе и опытной группе III составляет 20% и 8% соответственно.

При вскрытии погибшей рыбы были обнаружены механические повреждения. Связи между гибелью рыб и используемым кормом обнаружено не было.

Корма из тростника южного и тростника южного с пшеницей разработаны для использования при выращивании рыб в прудах с целью дополнительного кормления и повышения рыбопродуктивности. Рыба получает необходимые питательные вещества из естественной водной среды, поэтому эти корма призваны проверить реакцию рыбы на чистый тростниковый корм, его поедаемость, скорость погружения и способность растворяться в воде. Когда рыба выращивается в замкнутых водоемах, она лишается естественной пищи, поэтому должна получать все необходимые питательные вещества из искусственных кормов. Поэтому корм должен быть полноценным и предназначен для использования в качестве естественного рациона.

Таблица 3 – Стоимостные показатели корма, руб.

Table 3 – Cost indicators of feed, rub.

Показатели / Indicators	Контрольная группа / Control group	Опытная группа I / Experimental group I	Опытная группа II / Experimental group II	Опытная группа III / Experimental group III
Цена корма, руб./кг / Feed price, RUB/kg	120	25	25	30
Затраты на корм, руб. / Feed costs, RUB	727,7	204,8	203,9	276,3
Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed consumption per 1 kg of gain, kg	3,45	5,46	5,26	4,47
Затраты корма на 1 кг прироста, кг, руб. / Feed consumption per 1 kg of gain, kg, RUB	413	137	132	134

Наибольшую стоимость (цену) на выходе имеют корма для опытной группы III и контрольной группы и составляют 120 руб./кг и 30 руб./кг соответственно. Стоимость корма для опытной группы I и опытной группы II одинакова и составляет 25 руб./кг. Затраты на корма для опытной группы I и опытной группы II составляют 204,8 руб. и 203,9 руб.

Полнорационный гранулированный корм, произведенный в ООО «ПК «Фабрика белковых кормов» (р.п. Городище, Волгоградская область), изготавливается на основе южного тростника. Цена данного корма составляет 30 руб./кг.

Для производства корма используется наземная (надводная) часть тростника, которая оптимально скашивается до фазы цветения, в этот период питательная ценность тростника наивысшая. Во время цветения каждые 100 кг сухого тростника содержат 36,5 кормовых единиц и 3,6 кг перевариваемого белка; в виде силоса – 47,7 кормовых единиц и 3,7 кг белка. Однако при развитии тростника его питательная ценность значительно уменьшается. Когда начинается процесс плодоношения, количество питательных веществ в тростнике снижается до 29,8 кормовых единиц, а переваримость белка доходит всего до 1%. Молодые и нежные стебли тростника богаты содержанием сахара – до 6,4%, а также содержат от 33,1 до 51,5 мг/кг каротина и витамина С. Зеленые листья тростника содержат от 0,1 до 0,25% аскорбиновой кислоты.

Благодаря низкой стоимости тростникового корма по сравнению с импортным полнорационным кормом удалось сократить расходы на комбикорма, что положительно сказалось на уровне рентабельности и представляет перспективы.

Результаты научных исследований реализованы и будут применяться в следующих отраслях народного хозяйства и конкретных организациях, осуществляющих деятельность на территории Волгоградской области:

1. Экологическая реабилитация водного хозяйства (Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области, ООО «Научно-производственное предприятие «СтанкоЭкоСтрой» и др.).

2. Кормопроизводство (ООО ПК «Фабрика белковых кормов», ООО «МераМикс» и др.).

3. Рыбное хозяйство (КФХ Лозиной Я. В., Волгоградский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», ИП Калмыкова И. О., ФГБУ «Нижневолжрыбвод», ООО «Бережновское» Быковского р-на, ООО «Поповская рыбная компания» Чернышковского р-на, ФГУП «Медведицкий экспериментальный рыборазводный завод» Даниловского р-на, ООО «Шторм» Калачевского р-на и др.).

Заключение. Таким образом, наилучший показатель выживаемости имела опытная группа I, кормление которой осуществлялось стандартным импортным полнорационным комбикормом, и опытная группа II, кормление которой осуществлялось гранулами из тростника южного. Что подтвердило гипотезу о том, что тростник южный оптимально подходит для растительноядных рыб как в естественных, так и в искусственных условиях выращивания. Наибольший прирост наблюдался у контрольной группы и составил 59,2 г. Однако это дорогостоящий корм (от 120 руб./кг), предназначенный для ценных пород рыб, с высокой ценой реализации 800-1500 руб./кг. Связи между гибелью рыб и используемым кормом также обнаружено не было.

Наибольшую цену реализации имеют корма для опытной группы III (тростник и пшеница) и контрольной группы (полнорационный тростниковый корм), которые составляют 120 руб./кг и 30 руб./кг соответственно. Наименьшие затраты на кормление – у опытной группы I (тростниковый корм) и опытной группы II (тростник и пшеница), составившие 204,8 руб. и 203,9 руб. соответственно.

Для выращивания растительноядных рыб в условиях УЗВ, а также садках, оптимальным с точки зрения экономической эффективности кормления (затраты корма на 1 кг прироста – 134 руб.) и выживаемости (92%) является разработанный полнорационный корм на основе тростника южного, включающий тростник южный, подсолнечный жмых, мясокостную муку и дрожжи кормовые. Все ингредиенты являются отечественными и традиционными в отечественном кормопроизводстве. Корм может самостоятельно производиться организациями непосредственно в местах выращивания товарной рыбы. Технология адаптирована к российскому оборудованию и является доступной для малых и средних хозяйств, выращивающих растительноядных рыб.

Для интенсификации выращивания широкодоступных населению растительноядных рыб и устойчивого использования природных ресурсов было разработано направление продуктивного использования тростника южного. Этот растительный корм, являющийся природной и физиологически подходящей пищей для рыб, стал основой для промышленных кормов, предназначенных для карпа, белого амура, толстолобика и сазана.

Будущие исследования связаны с разработкой технологии производства кормов с заданной скоростью погружения и водостойкостью, а также выбором оптимальных методов и норм кормления, учитывая возраст и вид растительноядных рыб. Кроме того, будут проводиться практические испытания кормов в различных условиях выращивания рыб.

Conclusions. Thus, the results of the use of feed based on southern cane in feeding carp in the UZV showed its value and expediency.

Thus, the juvenile carp of the experimental group III at the end of the experiment had an increase higher than that of the control and analogues of the I and II experimental groups by 14.7%, 27% and 24.8%. All hematological parameters varied by groups within the limits of physiological norms.

As part of the intensification of the cultivation of herbivorous fish and the sustainable use of natural resources, a direction has been developed for the productive use of southern cane, which is a natural physiologically characteristic food in nature, as the basis of industrial feeds for herbivorous fish (carp, amur carp).

Future research directions are related to the development of technology for the production of feeds with a given immersion rate and water resistance, the choice of optimal feeding methods and norms depending on the age and type of herbivorous fish, and the testing of feeds in various fish growing conditions.

Библиографический список

1. Арефьев Б. Д., Гордеева С. Ю., Ключин Б. А., Макаров А. Н., Челышев Е. Б. Корм для сеголеток карпа. 2023. https://yandex.ru/patents/doc/SU1769413A1_19960310.
2. Аринжанов А. Е., Глущенко Н. Н., Киякова Ю. В., Мирошникова Е. П., Родионова Г. Б., Сизова Е. А. Способ производства корма для рыб. 2023. <http://allpatents.ru/patent/2517228.html>.
3. Василенко В. Н., Фролова Л. Н., Осипов И. П., Драган И. В. Способ производства функциональных экспандированных аквакормов для карповых рыб. 2023. https://yandex.ru/patents/doc/RU2447672C2_20120420.
4. Власов В. А. Рыбоводство. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 18 с.
5. Желтов Ю. А. 2006. Организация кормления разновозрастного карпа в фермерских рыбных хозяйствах. Киев: Фирма «ИНКОС», 2006. 282 с.
6. Желтов Ю. А. Рецепты комбикормов для выращивания рыб разных видов и возрастов в промышленном рыбоводстве. Киев: Фирма «Инкос», 2006. 154 с.
7. Комлацкий В. И., Комлацкий Г. В., Величко В. А. Рыбоводство. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 3 с.
8. Кулаченко В. П., Литвинов Ю. Н. Способ получения функционального экспандированного акваорма для карповых рыб. 2023. https://yandex.ru/patents/doc/RU2621136C1_20170531.
9. Магзанова Д. К., Каниева Н. А., Журавлева Г. Ф. Применение тростника южного «*phragmites australis*» в качестве сырья при производстве корма для рыб. Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2016. № 2. С. 63-66.
10. Сальников А. Л., Сугралиева З. Б., Давыдова С. А., Еремина А. Н. Кормовая смесь на основе тростника южного для карповых рыб. 2023. https://yandex.ru/patents/doc/RU2559114C2_20150810.
11. Скоков Р. Ю., Ранделин Д. А., Соловьев А. В., Сейдалиев Т. А. Тростник южный в кормах для прудовых растительноядных рыб: экологический, социальный, экономический эффекты. Рыбное хозяйство. 2023. № 5.
12. Соколова Н. А., Костин В. Е., Васенев И. И., Ерошенко В. И. Экологически обоснованное управление биомассой тростника южного на территории Волго-Ахтубинской поймы. Социально-экологические технологии. 2021. № 2.
13. Фаритов Т. А. Кормление рыб. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 29 с.
14. Хрусталева Е. И., Курапова Т. М., Гончаренко О. Е., Чебан К. А. Корма и кормление рыб в аквакультуре. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 39 с.
15. Чумакова В. В., Попова О. И. Лофант анисовый перспективная культура многопланового использования. Достижения науки и техники АПК. 2013. № 10. <https://cyberleninka.ru/article/n/lofant-anisovyy-perspektivnaya-kultura-mnogoplanovogo-ispolzovaniya>.
16. Wang R., Lei C., Li Z., Lei Y., Luo C., Shao L., Huang C., Yang P. Effects of a Diet of *Phragmites australis* instead of *Triticum aestivum* L. on Immune Performance and Liver Tissue Structure of *Ctenopharyngodon idellus*. Fishes. 2022. № 7 (6). P. 378.

References

1. Arefyev B. D., Gordeeva S. Yu., Klyushin B. A., Makarov A. N., Chelyshev E. B. Food for carp fingerlings. 2023. https://yandex.ru/patents/doc/SU1769413A1_19960310. 02/21/2023.
2. Arinzhonov A. E., Glushchenko N. N., Kilyakova Yu. V., Miroshnikova E. P., Rodionova G. B., Sizova E. A. Method of production of fish feed. 2023. <http://allpatents.ru/patent/2517228.html>.
3. Vasilenko V. N., Frolova L. N., Osipov I. P., Dragan I. V. Method of production of functional expanded aquaculture feeds for cyprinid fish. 2023. https://yandex.ru/patents/doc/RU2447672C2_20120420.
4. Vlasov V. A. Fish farming: a textbook. St. Petersburg: Lan, 2022. 18 p.
5. Zheltov Yu. A. Organization of feeding of carp of different ages in farm fisheries. Kiev: INCOS Company, 2006. 282 p.
6. Zheltov Yu. A. Recipes of compound feeds for growing fish of different species and ages in industrial fish farming. Kiev: Incos Company, 2006. 154 p.
7. Komlatsky V. I., Komlatsky G. V., Velichko V. A. Fish farming: a textbook for PDF. St. Petersburg: Lan, 2020. 3 p.
8. Kulachenko V. P., Litvinov Yu. N. A method for obtaining functional expanded aquaculture for cyprinid fish. 2023. https://yandex.ru/patents/doc/RU2621136C1_20170531.
9. Magzanova D. K., Kanieva N. A., Zhuravleva G. F. The use of southern reed "*phragmites australis*" as a raw material in the production of fish feed. Rational nutrition, food additives and biostimulants. 2016. No. 2. Pp. 63-66.
10. Salnikov A. L., Sugralieva Z. B., Davydova S. A., Eremina A. N. Feed mixture based on southern reed for cyprinid fish. 2015. https://yandex.ru/patents/doc/RU2559114C2_20150810.
11. Skokov R. Yu., Randelin D. A., Soloviev A. V., Seidaliyev T. A. Southern Reed in Feed for Pond Herbivorous Fish: Ecological, Social, Economic Effects. Fisheries. 2023. № 5.
12. Sokolova N. A., Kostin V. E., Vasenev I. I., Eroshenko V. I. Ecologically sound management of the biomass of southern cane on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain. Socio-ecological technologies. 2021. № 2.
13. Faritov T. A. Feeding fish: a textbook. St. Petersburg: Lan, 2020. 29 p.
14. Khrustalev E. I., Kurapova T. M., Goncharenok O. E., Cheban K. A. 2023. Fish feed and feeding in aquaculture. St. Petersburg: Lan. 39 p.
15. Chumakova V. V., Popova O. I. Lofant anisii promising culture of multifaceted use // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2013. No. 10. <https://cyberleninka.ru/article/n/lofant-anisovyy-perspektivnaya-kultura-mnogoplanovogo-ispolzovaniya>.
16. Wang R., Lei C., Li Z., Lei Y., Luo C., Shao L., Huang C., Yang P. Effects of a Diet of *Phragmites australis* instead of *Triticum aestivum* L. on Immune Performance and Liver Tissue Structure of *Ctenopharyngodon idellus*. Fishes. 2022. № 7 (6). P. 378.

Информация об авторах

Скоков Роман Юрьевич, доктор экономических наук, ректор, ГБОУ ВО «Волжский институт экономики, педагогики и права» (Российская Федерация, 404111, г. Волжский, ул. Советская, д. 6), ORCID: 0000-0003-1026-0538, e-mail: rskokov@mail.ru

Ранделин Дмитрий Александрович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Водные биоресурсы и аквакультура», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Соловьев Александр Витальевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Мелиорация земель и КИВР», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: 34asolo@gmail.com

Томиленко Ксения Андреевна, научный сотрудник НИЦ «Разведение ценных пород осетровых», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: kseniyatomi@mail.ru

Author's Information

Skokov Roman Yurievich, Doctor of Economics, Volga State Educational Institution of Economics, Pedagogy and Law, (Russian Federation, 404111, Volgograd region, Volzhsky, Sovetskaya Street, 6), ORCID: 0000-0003-1026-0538, e-mail: rskokov@mail.ru

Randelin Dmitry Aleksandrovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Solovyov Aleksander Vitalievich, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Land Reclamation and Land Development, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: 34asolo@gmail.com

Tomilenko Ksenia Andreevna, researcher at the Scientific Research Center "Breeding of valuable Sturgeon breeds", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: kseniyatomi@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-28

PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF BROILER CHICKENS WITH A NEW PHYTOPREBIOTIC FEED ADDITIVE INCLUDED IN THE DIET

¹Abramov S. V., ^{1,2}Gorlov I. F., ¹Kalinina N. V., ^{1,2}Slozhenkina M. I.,
¹Mosolov A. A., ^{1,2}Orekhova M. A.

¹Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production

²Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ladyn0910@mail.ru

Received 01.03.2024

Submitted 23.04.2024

The study was carried out within the framework of the state task of the GNU NIIMMP

Summary

In order to realize the genetic potential of poultry, improve the formulation of feed, it is recommended to search for new feed additives in order to improve metabolism, stimulate growth, strengthen immune status and increase the environmental safety of meat products. The inclusion of a new phytoprebiotic feed additive in the diet of broiler chickens had a significantly positive effect on live weight gain, hematological and immunological blood parameters. At the same time, the best results were achieved when it was included in the amount of 0.5% in the diet structure.

Abstract

Introduction. The results of studies on the effect of various dosages of prebiotic feed additives based on quercetin and lactulose on the productive characteristics of broiler chickens in the amount of 100 heads of the Ross-308 cross for 40 days are presented. During the experiment, three dosages of prebiotic were used: 0.25, 0.50 and 0.75%. As a result, a positive effect of the additive on the hematological and immune status of chickens, as well as on their meat productivity, was noted. Chickens of experimental groups I-III had better meat productivity by 107.9 (4.12%; $P \leq 0.001$), 135.7 (5.19%; $P \leq 0.001$) and 143.2 g (5.48%; $P \leq 0.001$) respectively, which was reflected in an increase in live weight gain and gross meat yield by 18.42; 21.14 and 21.87 kg. A decrease in feed consumption per 1 kg of live weight gain was established, respectively, by 3.66; 6.10 and 6.71%, which is due to the normalization of intestinal microflora, increased metabolic processes and a decrease in the level of free radical oxidation in the body of experimental chickens.

Material and methods. The experiment was carried out on Ross-308 cross broilers aged from 1 to 40 days. The keeping of poultry and the conduct of scientific research complied with Russian regulations (Order of the USSR Ministry of Health No. 755 of 08/12/1977 "On measures to further improve organizational forms of work using experimental animals" and "Guide for the Care and Use of Laboratory Animals" (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). To reduce the suffering of animals and the number of samples used, appropriate measures were taken. A new feed additive with 50% dihydroquercetin and 50% of the drug "Laktuvet-1" was developed at the State Scientific Institution NIIMMP, Volgograd, in accordance with the standards of TU 10.91. 10-276-10514645-2023. During the experiment, three dosages of prebiotic were used: 0.25, 0.50 and 0.75%. Biochemical blood analysis was carried out on URIT-800Vet, URIT-3020

analyzers in a comprehensive analytical laboratory FGBNU NIIMMP (Volgograd, Russia). The results obtained were statistically processed using software, calculating the mean value (M), standard errors of the mean ($\pm$ SEM) and the reliability criterion. **Results and conclusions.** It was concluded that the new prebiotic feed additive improved the biochemical composition of the blood of broiler chickens, increased its resistance and level of safety. The best result was achieved with the addition of a phytoprebiotic additive in the amount of 0.50% in the diet structure, which had a positive effect on zootechnical and immunological parameters.

Keywords: broiler chickens, broiler chicken rations, prebiotics, phytoprebiotic feed additives, broiler chicken productivity.

Citation. Abramov S. V., Gorlov I. F., Kalinina N. V., Slozhenkina M. I., Mosolov A. A., Orekhova M. A. Productive characteristics of broiler chickens with a new phytoprebiotic feed additive included in the diet. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 241-249 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-28.

Authors contribution. In this experiment, all of the authors participated in the preparation, execution, and analysis of the obtained research results. The presented version of the article was approved by the authors.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

УДК 636.5.084/087

ПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ В РАЦИОН НОВОЙ ФИТОПРЕБИОТИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

¹Абрамов С. В., кандидат ветеринарных наук

^{1,2}Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

¹Калинина Н. В., кандидат биологических наук

^{1,2}Сложенкина М. И., доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН

¹Мосолов А. А., доктор биологических наук, главный научный сотрудник

^{1,2}Орехова М. А., лаборант-исследователь

¹ФБГНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки
мясомолочной продукции» (ГНУ НИИММП)

²ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено по госзаданию ГНУ НИИММП 2022-24

Актуальность. Представлены результаты исследований по влиянию различных дозировок пребиотической кормовой добавки на основе кверцетина и лактулозы на продуктивные характеристики цыплят-бройлеров в количестве 100 голов кросса «Росс-308» в течение 40 суток. В ходе эксперимента были применены три дозировки пребиотика: 0,25, 0,50 и 0,75%. В результате было отмечено положительное влияние добавки на гематологический и иммунный статусы цыплят, а также на их мясную продуктивность. Цыплята I-III опытных групп имели лучшую мясную продуктивность на 107,9 (4,12%; $P \leq 0,001$), 135,7 (5,19%; $P \leq 0,001$) и 143,2г (5,48%; $P \leq 0,001$) соответственно, что отразилось на увеличении прироста живой массы и выходе валового мяса на 18,42; 21,14 и 21,87 кг. Установлено снижение потребления корма на 1 кг прироста живой массы соответственно на 3,66; 6,10 и 6,71%, что обусловлено нормализацией микрофлоры кишечника, усилением метаболических процессов и снижением уровня свободнорадикального окисления в организме опытных цыплят. **Материалы и методы.** Эксперимент был проведен на бройлерах кросса «Росс-308» в возрасте от 1 до 40 дней. Содержание птицы и проведение научных исследований соответствовали российским нормативным актам (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). Для уменьшения страданий животных и количества использованных образцов были предприняты соответствующие меры. Новая кормовая добавка, содержащая в равных частях дигидрокверцетин и «Лактувет-1», была разработана ГНУ НИИММП, Волгоград, согласно нормам ТУ 10.91.10-276-10514645-2023. В опыте были применены три дозировки пребиотика: 0,25, 0,50 и 0,75%. Биохимический анализ крови проводился на анализаторах URIT-800Vet, URIT-3020 в условиях комплексной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП (Волгоград, Россия). Полученные результаты были статистически обработаны с использованием программного обеспечения, расчёта среднего значения (M), стандартных ошибок среднего ($\pm$ SEM) и критерия достоверности. **Результаты и выводы.** Сделан вывод о

том, что новая пребиотическая кормовая добавка улучшила биохимический состав крови цыплят-бройлеров, повысила ее резистентность и уровень сохранности. Наилучший результат был достигнут при добавлении данной добавки в количестве 0,50% в структуре рациона, что положительно сказалось на зоотехнических и иммунологических показателях птицы.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, рационы цыплят-бройлеров, пребиотики, фитопребиотические кормовые добавки, продуктивность цыплят-бройлеров.

Цитирование. Абрамов С. В., Горлов И. Ф., Калинина Н. В., Сложенкина М. И., Мосолов А. А., Орехова М. А. Продуктивные характеристики цыплят-бройлеров при включении в рацион новой фитопребиотической кормовой добавки. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 241-249. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-28.

Авторский вклад. В данном эксперименте все авторы принимали участие в подготовке, выполнении и анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен авторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Разработка новых, усовершенствованных рецептур кормов для промышленных кроссов птицы, обладающих стрессоустойчивостью и высоким уровнем метаболизма, является актуальной задачей в связи с необходимостью реализации генетической информации кросса. Это особенно важно, поскольку затраты на корм составляют от 50 до 75% всех затрат производства птицеводческой продукции. Биологически активные компоненты, пребиотики и их производные, используемые в рационах взамен антибиотиков и гормонов, способствуют улучшению обмена веществ, стимулированию роста, укреплению иммунного статуса и повышению экологической безопасности мясной продукции [М. И. Сложенкина, И. Ф. Горлов, и др., 2021].

Лактулоза – это изомер лактозы β -D-галактопиранозил-(1,4)-D-глюкопиранозы. Она имеет такую же формулу и молекулярную массу, но вдвое слаще и лучше растворима в воде: 58,1% по сравнению с 16,1%. Одним из механизмов действия пребиотиков является ингибирование процессов перекисного окисления. Кроме того, лактулоза укрепляет мембраны эритроцитов (Рябцева С.А. и др., 2020). Исследования показали, что пребиотики способствуют повышению уровня усвоения кальция на 40–60% и стимулируют энергетические процессы [Liu Y et al. 2018; Gibson G.R., Fuller R. 2000].

Пребиотическая кормовая добавка «Лактувет-1» идеально сбалансирована и разработана с использованием лактулозы не менее 14,5%. Помимо этого, в состав входят такие компоненты, как лактоза (порядка 25,2%), галактоза (12,5%) и другие химические макроэлементы. Важным компонентом являются органические кислоты, включая молочную (5,2%) и лимонную (2,3%). Данная добавка изготавливается из мелассы – побочного продукта производства молочного сахара и представляет собой порошок светло-желтого оттенка.

Авторы подтвердили эффективность применения вышеупомянутой добавки, которая способствует повышению производительности и качества продукции [1-5]. Так, введение ее в рацион молочных коз в дозе 50 г на голову в день привело к увеличению надоя на 8,5%, содержания жира в молоке на 0,08% и уровня белка на 0,05 % по сравнению с аналогами контрольной группы [6]. Данная добавка была протестирована и на других видах сельскохозяйственных животных и птицы, получив высокие оценки [7-11].

Современные рационы для животных, с введением различных добавок, подкормок и премиксов, требуют особого внимания к условиям их хранения и использования. Неправильное и длительное хранение комбикорма может привести к химическим изменениям его состава, вызванным деятельностью бактерий и грибов, включая дезаминирование белков, разрушение витаминов и перекисное окисление жиров. В результате таких изменений повышается кислотность корма, что может негативно сказаться на здоровье и продуктивности птицы. Корм с повышенной кислотностью может вызвать диарею, заболевания сердца, печени, почек и других органов [12].

Дигидрокверцетин (далее – ДГК) – это антиоксидант, который широко используется в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы. Его получают из измельченной древесины лиственницы даурской, он является сильным антиоксидантом с активностью витаминов группы Р. ДГК защищает сердце, капилляры, печень и повышает общую резистент-

ность организма [13]. Исследования Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова показали, что ДГК не токсичен, физиологически безопасен для человека и не обладает посторонними запахами и вкусами [14].

Включение ДГК и арабиногалактана в рацион кур-несушек в количестве 3,6 мг на 1 кг живой массы способствовало увеличению яичной продуктивности на 6,01%, экономии корма, затраченного на снесение 10 яиц на 6,73% и на 7,33% на 1 кг яйцемассы. Кроме того, данные добавки предотвращали развитие жировой дистрофии печени птицы. Цыплята-бройлеры кросса «Гибро», получавшие ДГК с водой для выпойки, превосходили своих сверстников по живой массе на 8,13% и по выходу мяса на 19,71%. Исследования подтверждают эффективность включения в рацион цыплят кросса «Смена-7» кормовой добавки «Экостимул-2», созданной на основе ДГК: мясо цыплят опытной группы содержало на 0,23-7,81% больше сухого вещества [15].

В связи с запретом на использование антибиотиков в кормах с.-х. животных и птицы с целью перехода на новую систему профилактики и лечения заболеваний, актуальным является разработка и использование аналоговых кормовых премиксов. Новая кормовая добавка «Кверцетинолакт», содержащая 50% дигидрокверцетина и 50% препарата «Лактувет-1» была разработана ГНУ НИИММП, Волгоград, согласно положениям ТУ 10.91.10-276-10514645-2023. Дигидрокверцетин обладает антиоксидантными свойствами, укрепляет иммунитет и является противоаллергеном. В сочетании с бифидогенной кормовой добавкой, нормализующей кишечную микрофлору и процессы пищеварения, ДГК может значительно улучшить качество полученной продукции.

Задачи исследований: 1. Изучить продуктивные показатели цыплят-бройлеров, с учетом иммунологических и гематологических показателей, при использовании в рационе новой фитопребиотической кормовой добавки. 2. Определить оптимальную норму ввода Кверцетинолакта в комбикорм. 3. Определить влияние данной добавки на уровень расхода корма на 1 кг прироста живой массы.

Цель работы – изучить влияние новой фитопребиотической кормовой добавки на хозяйственно-биологические характеристики цыплят-бройлеров с учетом гематологических и иммунологических показателей.

Материалы и методы. Эксперимент был проведен на бройлерах кросса «Росс-308» с 1 до 40 дневного возраста. Обслуживание животных и проведение экспериментальных исследований соответствовали российским нормативным актам (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). Для уменьшения страданий животных и количества использованных образцов были предприняты соответствующие меры. В конце опыта у цыплят-бройлеров 40-дневного возраста был произведен забор крови. Биохимический анализ крови проводился на анализаторах URIT-800Vet, URIT-3020 в условиях комплексной аналитической лаборатории ФГБНУ НИИММП (Волгоград, Россия). Влияние комплексной фитодобавки на продуктивность цыплят-бройлеров оценивали по зоотехническим, гематологическим и иммунологическим показателям.

Полученные данные были обработаны с использованием специализированного программного обеспечения для расчета среднего значения (M), стандартной ошибки среднего (SEM) и статистической значимости. В данном исследовании для статистического анализа использовалась программа "Excel". Для каждого среднего значения была рассчитана стандартная ошибка среднего (SEM) и определен критерий статистической значимости различий по методу Стьюдента-Фишера. Уровень статистической значимости был установлен на уровне * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ при сравнении опытных групп с контрольной.

Результаты и обсуждение. Эксперимент был проведен на цыплятах-бройлерах кросса «Росс-308» с целью изучения влияния добавки на их рост и развитие. Всего было сформировано 4 группы (3 опытные и контрольная) по 100 голов птицы суточного возраста, предоставленных АО «Птицефабрика Краснодонская» Волгоградской области (таблица 1).

В рационы для опытных групп вводили 0,25; 0,50 и 0,75% добавки Кверцетинолакта, сохраняя при этом одинаковые показатели рационов, фронта кормления, поения и температурно-влажностного режима.

Таблица 1 – Схема эксперимента
Table 1 – The scheme of the experiment

Группа / Group	Количество голов / Number of poultry heads	Возраст, дней / Age, days	Режим кормления / Feeding mode
Контрольная / control	100	1-40	Основной рацион, согласно ГОСТу / Basic diet, according to the Russian National Standard
I опытная / I experimental	100	1-40	Основной рацион с включением добавки 0,25% в структуре рациона / Basic diet with the inclusion of an additive 0,25% in the structure of the diet
II опытная / II experimental	100	1-40	Основной рацион с включением добавки 0,50% в структуре рациона / Basic diet with the inclusion of an additive 0,50% in the structure of the diet
III опытная / III experimental	100	1-40	Основной рацион с включением добавки 0,75% в структуре рациона / Basic diet with the inclusion of an additive 0,75% in the structure of the diet

Основные хозяйственно-биологические показатели подопытной птицы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Продуктивные характеристики цыплят-бройлеров, (n=100)
Table 2 – Productive characteristics of broiler chickens, (n=100)

Показатель / Index	Группа / Group			
	Контрольная / control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental	III опытная / III experimental
Живая масса на начало опыта, 1 сутки, г/ Live weight at the beginning of the experiment, 1 day, g	41,2±6,7	41,0±4,1	40,8±5,3	41,6±4,6
Живая масса на конец опыта, 40 дней, г/ Live weight at the end of the experiment, 40 weeks, g	2614,6±13,0	2722,5±11,7***	2750,3±12,8***	2757,8±10,2***
Прирост живой массы, г/ Live weight gain, g	2573,4	2 681,5	2709,5	2716,2
Сохранность гол /% / Poultry safety / %	95/95,0	98/98,0	98/98,0	98/98,0
Расход корма, кг на 1 кг прироста живой массы/ Feed consumption, kg per 1 kg of live weight gain	1,64	1,58	1,54	1,53
Получено мяса в живой массе, кг / Meat received in live weight, kg	248,39	266,81	269,53	270,26

Примечание: здесь и далее разность по отношению к контрольной группе достоверна при: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

Note: hereinafter, the difference in relation to the control group is significant: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$; *** – $P \leq 0.001$

По данным таблицы, новая кормовая добавка способствовала росту живой массы цыплят I-III опытных групп на 107,9 (4,12%; $P \leq 0,001$), 135,7(5,19%; $P \leq 0,001$) и 143,2г (5,48%; $P \leq 0,001$) соответственно. Данный показатель отразился на увеличении прироста живой массы и выхода валового мяса на 18,42; 21,14 и 21,87 кг.

Исследования гематологического и иммунологического статуса птицы в условиях интенсивного промышленного производства являются особенно актуальными. В частности, количественное определение лейкоцитов и гематокрита крови сигнализируют о развитии заболевания [16]. Настоящие исследования показали, что добавление Кверцетинолакта в рационы цыплят-бройлеров вызвало снижение количества лейкоцитов на 30-39%, увеличение содержания эритроцитов в крови цыплят второй и третьей опытных групп, что указывает на активизацию процессов тканевого обмена, снабжения организма кислородом и выведения продуктов метаболизма. Также отмечено достоверное снижение уровня лейкоцитов и повышение уровня гематокрита в крови птицы всех опытных групп, свидетельствующее о терапевтическом и иммуномодулирующем действии добавки. Повышение уровня гематокрита крови цыплят-бройлеров подопытных групп свидетельствует об усилении метаболизма в организме [8,16]. Добавление фитопребиотической добавки в рацион цыплят опытных групп привело и к повышению уровня эритроцитов и содержания гемоглобина в их крови. Так, цыплята II и III групп в возрасте 40 дней имели в крови на 2,99% и 1,63% большее число эритроцитов по сравнению с данным показателем цыплят контрольной группы. Птица I-III групп превосходила аналогов контроля по уровню гемоглобина на 1,84 (1,73%), 3,75 (3,52%) и 3,08 г/л (2,90%) соответственно. Кроме того, уровень гематокрита у цыплят опытных групп также вырос на 0,88, 2,39 и 0,03%.

Показатели белкового обмена в сыворотке крови бройлеров приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели белкового обмена, (n=9)

Table 3 – Indicators of protein metabolism in the blood serum of broilers, (n=9)

Показатель / Index	Группа / Group			
	Контрольная / control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental	III опытная / III experimental
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	38,67±1,11	42,47±0,85*	43,12±1,03**	42,71±1,46*
Альбумины, (А) г/л / Albumins, (A) g/l	27,38±0,47	30,04±0,54**	30,85±0,51***	31,19±1,72*
%	70,80	70,73	71,54	73,03
Глобулины, (Г) г/л / Globulins, (G) g/l	11,29±0,32	12,43±0,84	12,27±0,39	11,52±0,17
%	29,20	29,27	28,46	26,97
АСТ, ед/л / AST, units/l	284,48±6,17	293,12±5,23	296,71±6,08	289,93±3,76
АЛТ, ед/л / ALT, units/l	17,18±0,94	17,54±0,53	18,12±0,26	17,43±0,39

По данным исследований [17], 60% всех белков плазмы крови составляет альбумин, обладающий транспортной, питательной и дезинтоксикационной функциями. Физиологическое состояние птицы опытных групп было лучшим за счёт более полного усвоения аминокислот и азота, стабилизации микрофлоры комбикорма и активизации протеинового обмена. Следовательно, повышение мясной продуктивности подопытной птицы вызвано стимулированием белкового обмена в их организме. Так, было зафиксировано увеличение общего белка в крови цыплят I-III опытных групп на 3,8 (9,8%, $P \leq 0,05$); 4,45 (11,51%, $P \leq 0,01$) и 4,04 г/л (10,45%, $P \leq 0,05$) соответственно. Данное превышение было преимущественно за счет альбуминовой фракции, в которой установлено достоверное превосходство по всем группам опытной птицы: на 2,66 (9,72%; $P \leq 0,01$); 3,47 (12,67%; $P \leq 0,001$) и 3,81 г/л (13,92%; $P \leq 0,05$) соответственно. Вместе с тем наблюдалось увеличение уровня глобулинов в крови цыплят опытных групп на 1,14 (10,10%); 0,68 (8,68%) и 0,23 г/л (2,04%), что также обеспечивает рост продуктивности птицы.

Функциональное состояние печени как важного участника белкового обмена может быть оценено по активности ферментов крови аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ), которые являются катализаторами белкового обмена и способствуют образованию новых аминокислот, что влечет увеличение интенсивности метаболических процессов в организме цыплят-бройлеров и их мясной продуктивности [16]. В кон-

тексте активности АСТ, бройлеры контрольной группы обладали более низким показателем по сравнению с аналогами опытных групп: I – на 3,04; II – на 5,00 и III – на 1,92%, что свидетельствует о более высокой интенсивности белкового обмена, которая значительно была выражена у цыплят II опытной группы. Недостоверное увеличение активности АЛТ в I-III опытных группах на величину от 1,46 до 6,64% было в пределах физиологической нормы.

Характеристика иммунного статуса подопытной птицы приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели естественной резистентности цыплят, (n=9)

Table 4 – Indicators of natural resistance of chickens, (n=9)

Показатель / Index	Группа / Group			
	Контрольная / control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental	III опытная / III experimental
Лизоцимная активность, % / Lysozyme activity, %	22,15±2,36	24,63±1,14	24,39±2,98	25,06±3,13
Фагоцитарная активность, % / Phagocytic activity, %	58,13±2,18	61,39±1,72	62,64±2,03	61,47±1,90
Фагоцитарный индекс / Phagocytic index	62,87±0,29	64,56±1,33	64,90±0,26	63,18±0,34
Фагоцитарное число / Phagocytic number	7,46±0,34	7,11±0,47	8,63±0,42	8,23±0,51

В нашем исследовании полученные данные свидетельствуют об укреплении естественной резистентности цыплят-бройлеров при добавлении в их рацион вышеназванной кормовой добавки. Цыплята контрольной группы по лизоцимной активности отставали от сверстников I опытной группы на 2,48, II – 2,24 и III – 2,91%, а по фагоцитарной – соответственно на 3,26, 4,51 и 3,34%, фагоцитарному индексу – на 1,69; 2,03 и 0,31%. Относительно фагоцитарного числа выявлено преимущество II и III групп на 15,68 и 10,32% по сравнению с аналогами контроля. Таким образом, новая кормовая добавка «Кверцитинолакт» на основе дигидрокверцетина и «Лактувета-1», разработанная нами, благоприятно повлияла на белковый обмен крови птиц опытных групп и, как следствие, на их хозяйственно-биологические показатели. Активные вещества новой фитопребиотической добавки снизили степень окисления липидов, способствуя укреплению естественной резистентности и формированию антиоксидантной защиты организма.

Выводы. Добавление фитопребиотической кормовой добавки в рацион цыплят-бройлеров I-III опытных групп способствовало достоверному росту их мясной продуктивности на 107,9 (4,12%; $P \leq 0,001$), 135,7 (5,19%; $P \leq 0,001$) и 143,2г (5,48%; $P \leq 0,001$) соответственно, что отразилось на увеличении прироста живой массы и выхода валового мяса на 18,42; 21,14 и 21,87 кг. Установлено снижение потребления корма на 1 кг прироста живой массы соответственно на 3,66; 6,10 и 6,71%. Полученный эффект можно объяснить ростом интенсивности метаболизма, повышением уровня кроветворения и естественной резистентности опытной птицы.

Наилучшие зоотехнические и иммунологические показатели были достигнуты при добавлении в рацион птицы фитопребиотической кормовой добавки в количестве 0,50%.

Conclusions. The addition of a phytoprebiotic feed additive to the diet of broiler chickens of experimental groups I-III contributed to a significant increase in their meat productivity by 107.9 (4.12%; $P \leq 0.001$), 135.7 (5.19%; $P \leq 0.001$) and 143.2 g (5.48%; $P \leq 0.001$), respectively, which was reflected in an increase in live weight gain and gross meat yield by 18.42; 21.14 and 21.87 kg. A decrease in feed intake per 1 kg of live weight gain by 3.66, respectively, was established; 6.10 and 6.71%. The effect obtained can be explained by an increase in the intensity of metabolism, an increase in the level of hematopoiesis and the natural resistance of the experimental bird. The best zootechnical and immunological indicators were achieved when a phytoprebiotic feed additive in the amount of 0.50% was added to the poultry diet.

Библиографический список

1. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Храмцов А. Г., Комарова З. Б., Фролова М. В., Курмашева С. С., Рудковская А. В. Выращивание цыплят-бройлеров с использованием новых кормовых добавок на основе лактулозы. Птица и птицепродукты. 2021. № 1. С. 17-20.

2. Горлов И. Ф., Калинина Н. В., Сложенкина М. И., Комарова З. Б., Рудковская А. В., Натиров А. К., Должанов П. Б., Березина О. А. Влияние новой фитопребиотической кормовой добавки на хозяйственно-биологические показатели цыплят-бройлеров. Животноводство и кормопроизводство. 2023. № 4.
3. Рябцева С. А., Храмов А. Г., Будкевич Р. О., Анисимов Г. С., Чукло А. О., Шпак М. А. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы. Вопросы питания. 2020. № 2.
4. Храмов А. Г., Дыкало Н. Я., Школа С. С., Еремина А. И., Анисимов Г. С., Рудковский А. В. ЛактуВет – бифидогенная пищевая добавка будущего. Аграрно-пищевые инновации. 2022. Т. 17. № 1. С. 17-29.
5. Варакин А. Т., Епифанов В. Г., Симонов Г. А., Зотеев В. С., Санин А. А. Органический селен и дрожжевой пробиотик в рационах лактирующих свиноматок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 152-161.
6. Халимбеков З. А., Малахова Л. С., Грига О. Э., Джафаров Н. М.-О. Влияние кормовых добавок "лактомин" и "лактует" на молочную продуктивность коз. Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 1 (15).
7. Шевченко А. Н. Продуктивность, биохимический состав крови и уровень естественной резистентности цыплят-бройлеров при использовании в рационе биологически активной добавки АА-50. Зоотехния. 2023. № 5. С. 24-26.
8. Тарас А. М., Полещук В. Н., Сычева И. Н. и др. Влияние кормовой добавки "Primalac" на продуктивность цыплят-бройлеров кросса "росс-308". Зоотехния. 2023. № 7. С. 28-32.
9. Зайцев В. В., Боголюбова Н. В., Сеитов М. С., Зайцев Н. В. Влияние фитогенной добавки и активированного угля на состав микробиоты кишечника цыплят-бройлеров. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 1(105). С. 228-232.
10. Саломатин В. В., Злепкина Н. А., Варакин А. Т., Рудаков А. В. Бета-каротинсодержащий препарат при выращивании цыплят-бройлеров. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4. С. 104-110.
11. Khan S., Moore R. J., Stanley D., Chousalkar K. K. The Gut Microbiota of Laying Hens and Its Manipulation with Prebiotics and Probiotics to Enhance Gut Health and Food Safety. Applied and Environmental Microbiology. 2020. V. 86 (13). Pp. 600-620.
12. Остапчук П. С., Зубоченко Д. В., Куевда Т. А. Роль антиоксидантов и использование их в животноводстве и птицеводстве (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 2.
13. Омаров М. О., Слесарева О. А., Османова С. О., Абилов Б. Н. Улучшаем конверсию корма. Птицеводство. 2019. № 09. С. 7-8.
14. Кузьмина Н. Н., Петров О. Ю. Влияние биологической активности вещества «Дигидрокверцетин» в рационах цыплят-бройлеров кросса Кобб-500 на их рост и мясную продуктивность. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2020. № 1 (21).
15. Егоров И. А., Андрианова Е. Н., Григорьева Е. Н., Ксенофонтов А. В. Использование дигидроквертина и арабиногалактана в комбикормах для кур-несушек. Птица и птицепродукты. 2018. № 1. С. 12-15.
16. Федорова З. Л., Перинек О. Ю. Биохимические показатели крови мясо-яичных пород кур в постнатальном онтогенезе. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 2-10.
17. Куленко В. Г., Шевчук В. Б., Фиалкова Е. А., Виноградова Ю. В., Кузин А. А., Новикова Т. В., Воеводина Ю. А. Интенсивная технология производства кормовой добавки на основе лактулозы с высокой бифидогенной активностью. Молочнохозяйственный вестник. 2018. № 4 (32).
18. Gibson G. R., Fuller R. Aspects of in vitro and In vivo research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. Journal Nutr. 2000. № 130 (2). Suppl: 391S-395S.
19. Liu Y., Espinosa C. D., Abelilla J. J., Casas G. A., Lagos L. V., Lee S. A., Kwon W. B., Mathai J. K., Navarro D. M. D. L., Jaworski N. W., Stein H. H. Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: A review. Animal Nutrition. 2018. V. 4 (2). Pp. 113-125.

References

1. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khramtsov A. G., Komarova Z. B., Frolova M. V., Kurmasheva S. S., Rudkovskaya A. V. Rearing broiler chickens using new lactulose-based feed additives. Poultry and poultry products. 2021. № 1. Pp. 17-20.
2. Gorlov I. F., Kalinina N. V., Slozhenkina M. I., Komarova Z. B., Rudkovskaya A. V., Natyrov A. K., Dolzhanov P. B., Berezina O. A. Influence of a New Phytoprebiotic Feed Additive on Economic and Biological Indicators of Broiler Chickens. Animal husbandry and fodder production. 2023. № 4.
3. 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. № 2.
4. Khramtsov A. G., Dykalo N. Ya., Shkola S. S., Eremina A. I., Anisimov G. S., Rudkovskiy A. V. LactuVet is a bifidogenic food additive of the future. Agrarian and food innovations. 2022. V. 17. № 1. Pp. 17-29.
5. Varakin A. T., Epifanov V. G., Simonov G. A., Zoteev V. S., Sanin A. A. Organic selenium and yeast probiotic in the diets of lactating sows. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2021. № 4 (64). Pp. 152-161.
6. Khalimbekov Z. A., Malakhova L. S., Griga O. E., Jafarov N. M.-O. Effect of feed additives "lactomin" and "lactuvel" on milk productivity of goats. Agricultural Journal. 2022. № 1 (15).
7. Shevchenko A. N. Productivity, Biochemical Composition of Blood and the Level of Natural Resistance of Broiler Chickens When Using the Dietary Supplement AA-50 in the Diet. Zootechnics. 2023. № 5. Pp. 24-26.
8. Taras A. M., Poleshchuk V. N., Sycheva I. N., et al. Effect of the feed additive "Primalac" on the productivity of broiler chickens of the "Ross-308" cross. Zootechnics. 2023. № 7. Pp. 28-32.

9. Zaitsev V. V., Bogolyubova N. V., Seitov M. S., Zaitsev N. V. Effect of phytogenic additive and activated charcoal on the composition of the intestinal microbiota of broiler chickens. *Proceedings of the Orenburg state agrarian university*. 2024. № 1(105). Pp. 228-232.
10. Salomatin V. V., Zlepina N. A., Varakin A. T., Rudakov A. V. Beta-carotene-containing preparation in broiler chicken rearing. *Proceedings of the Samara State Agricultural Academy*. 2023. № 4. Pp. 104-110.
11. Khan S., Moore R. J., Stanley D., Chousalkar K. K. The Gut Microbiota of Laying Hens and Its Manipulation with Prebiotics and Probiotics to Enhance Gut Health and Food Safety. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020. V. 86 (13). Pp. 600-620.
12. Ostapchuk P. S., Zubochenko D. V., Kuevda T. A. Role of antioxidants and their use in animal husbandry and poultry farming (review). *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2019. № 2.
13. Omarov M. O., Slesareva O. A., Osmanova S. O., Abilov B. N. Improving feed conversion. *Poultry*. 2019. № 09. Pp. 7-8.
14. Effect of Biological Activity of Dihydroquercetin in Diets of Cobb-500 Broiler Chickens on Their Growth and Meat Productivity. *Bulletin of Mari State University. Series "Agricultural Sciences. Economic Sciences"*. 2020. № 1 (21).
15. Egorov I. A., Andrianova E. N., Grigorieva E. N., Ksenofontov A. V. Use of Dihydroquercetin and Arabino-galactan in Mixed Feeds for Laying Hens. *Poultry and poultry products*. 2018. № 1. Pp. 12-15.
16. Fedorova Z. L., Perinek O. Y. Biochemical Indices of Blood of Meat-Egg Breeds of Chickens in Postnatal Ontogenesis. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education*. 2020. № 4 (60). Pp. 2-10.
17. Kulenko V. G., Shevchuk V. B., Fialkova E. A., Vinogradova Y. V., Kuzin A. A., Novikova T. V., Voevodina Y. A. Intensive technology for the production of a feed additive based on lactulose with high bifidogenic activity. *Dairy Bulletin*. 2018. № 4 (32).
18. Gibson G. R., Fuller R. Aspects of in vitro and In vivo research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. *J Nutr*. 2000. № 130 (2). Pp. 391S-395S.
19. Liu Y., Espinosa C. D., Abelilla J. J., Casas G. A., Lagos L. V., Lee S. A., Kwon W. B., Mathai J. K., Navarro D. M. D. L., Jaworski N. W., Stein H. H. Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition*. 2018. V. 4 (2). Pp. 113-125.

Информация об авторах

Абрамов Сергей Владиславович, кандидат ветеринарных наук, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Фёдорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6); заведующий кафедрой «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. имени В. И. Ленина, д. 28).

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6); профессор кафедры «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. имени В. И. Ленина, д. 28).

Калинина Наталья Васильевна, кандидат биологических наук, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Орехова Мария Александровна, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), студент, Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. имени В. И. Ленина, 28), e-mail: niimmp@mail.ru

Author's Information

Abramov Sergey Vladislavovich, Candidate of Veterinary Sciences, Integrated Analytical Laboratory, Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of agricultural sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, scientific supervisor, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6); Head of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28).

Slozenkina Marina Ivanovna, Doctor of biological sciences, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, director, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6); Professor of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28).

Kalinina Natalia Vasilievna, Candidate of biological sciences, laboratory assistant-researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolov Aleksander Anatolyevich, Doctor of biological sciences, chief researcher, complex analytical laboratory, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Orekhova Mariya Aleksandrovna, Laboratory Assistant-Researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), student, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: niimmp@mail.ru

MEAT PRODUCTIVITY AND MEAT QUALITY OF PUREBRED AND CROSSBRED LAMBS**Shperov A. S., Chamurliiev N. G., Shangeraev G. M., Abdulkhalikov A. M.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: shperov2011@mail.ru

Received 28.02.2023

Submitted 22.04.2024

Summary

Due to the growing demand for sheep products, in particular mutton, research on crossing domestic meat-and-fat fat-tailed queens with highly productive sheep of imported meat breeding such as dorper is becoming relevant.

Abstract

Introduction Currently, sheep farming, as a sub-branch of animal husbandry, is focused on the production of young mutton; therefore, special attention is paid to the use of meat and meat-fat breeds of sheep for these purposes. The level of production of young mutton is significantly influenced by the breed, sex of animals, feeding conditions and maintenance. In this regard, the meat-and-fat fat-tailed Edilbaev breed, as well as the imported meat breed Dorper, deserves attention. These breeds have a high growth rate and high quality indicators of meat and fat. An important component of increasing the meat productivity of sheep is industrial crossing. Considering the above, research on the crossing of domestic meat-and-fat fat-tailed queens with highly productive meat sheep of imported breeding, i.e. dorpers, is becoming relevant. **Object.** The object of research was purebred and crossbred sheep. The experiment was conducted on young animals of the Edilbaevsky breed and obtained from mating sheep of the Edilbaevsky breed with sheep of the Dorper breed. **Materials and methods.** The research was conducted in the conditions of IP KFH Shangeraev M. G. To establish the efficiency of lamb production from purebred and crossbred young animals, 2 groups of sheep with 30 heads each were selected: purebred Edilbaevsky and crossbred animals obtained from mating sheep of the Edilbaevsky breed with sheep of the Dorper breed. The selection of animals and the recruitment of groups were carried out using the method of balanced groups of analogues (Ovsyannikov A. I. «Fundamentals of experimental business», 1976) Unified methods was used for laboratory and zootechnical research. Statistical processing of the digital research material was performed using the Microsoft Excel program. Statistical significance was assessed using the Student's t-test. **Results and conclusions.** Over the entire research period from birth to 7 months of age, the superiority of the Edilbai-Dorper crossbreeds in live weight was 5.5 kg or 11.07% compared with their purebred peers. Crossbred sheep significantly outperformed purebred ones in absolute growth – by 27.2 g or 13.01%. Edilbai-Dorper sheep have saved 0.68 energy feed units and 52.7 g of digestible protein per 1 kg of live weight gain compared to purebred Edilbai sheep. A significantly high difference in favor of crossbred sheep was established by the slaughter weight of 3.53 kg or 14.83% ($P < 0.01$). The meat ratio in crossbred animals was 3.88 versus 3.75 in purebred peers.

Keywords: *Edilbaev breed of sheep, purebred sheep, crossbred sheep, meat productivity of lambs.*

Citation. Shperov A. S., Chamurliiev N. G., Shangeraev G. M., Abdulkhalikov A. M. Meat productivity and meat quality of purebred and crossbred lambs. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 250-257 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-29.

The author's contribution. The team of authors stated in the article 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 636.082.4

**МЯСНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО МЯСА ЧИСТОПОРОДНЫХ
И ПОМЕСНЫХ БАРАНЧИКОВ**

Шперов А. С., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Чамурлиев Н. Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Шангераев Г. М., магистрант
Абдулхаликов А. М., аспирант

*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. В настоящее время овцеводство, как подотрасль животноводства, ориентировано на производство молодой баранины, поэтому особое внимание уделяется использованию для этих целей мясных и мясо-сальных пород овец. На уровень производства молодой баранины существенное влияние оказывают породность, пол животных, условия кормления и содержания. В

этой связи заслуживает внимания мясо-сальная курдючная эдильбаевская порода, а также импортная мясная порода дорпер. Эти породы обладают высокой скоростью роста и качественными показателями мяса и сала. Важной составляющей повышения мясной продуктивности овец является промышленное скрещивание. Учитывая вышеизложенное, актуальным становятся исследования по скрещиванию отечественных мясо-сальных курдючных маток с высокопродуктивными мясными баранами импортной селекции, т.е. дорперами. **Объект.** Объектом исследований стали чистопородные и помесные баранчики. Эксперимент проводился на молодняке эдильбаевской породы и полученный от спаривания овцематок эдильбаевской породы с баранами породы дорпер. **Материалы и методы.** Исследования проведены в условиях ИП КФХ Шангераев М. Г. Для установления эффективности производства баранины от чистопородного и помесного молодняка были подобраны 2 группы баранчиков по 30 голов в каждой: чистопородные эдильбаевские и помесные животные, полученные от спаривания овцематок эдильбаевской породы с баранами породы дорпер. Отбор животных и комплектования групп осуществлялся по методу сбалансированных групп-аналогов (Овсянников А. И. «Основы опытного дела», 1976 г.) Для проведения лабораторных и зоотехнических исследований применялись унифицированные методы. Статистическая обработка цифрового материала исследований была произведена с использованием программы Microsoft Excel. Статистическую значимость оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. **Результаты и выводы.** За весь период исследований от рождения и до 7-месячного возраста превосходство эдильбай-дорперских помесей по живой массе составил 5,5 кг или 11,07% по сравнению с их чистопородными сверстниками. Помесные баранчики достоверно превосходили чистопородных по абсолютному приросту – на 27,2 г или 13,01%. Эдильбай-дорперские баранчики на 1 кг прироста живой массы по сравнению с чистопородными эдильбаевскими сэкономили 0,68 энергетических кормовых единиц и 52,7 г переваримого протеина. Достоверно высокая разница в пользу помесных баранчиков установлена по убойной массе 3,53 кг или 14,83 % ($P < 0,01$). Коэффициент мясности у помесных животных составил 3,88 против 3,75 у чистопородных сверстников.

Ключевые слова: эдильбаевская порода овец, чистопородные баранчики, помесные баранчики, мясная продуктивность баранчиков.

Цитирование. Шперов А. С., Чамурлиев Н. Г., Шангераев Г. М., Абдулхаликов А. М. Мясная продуктивность и качество мяса чистопородных и помесных баранчиков. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 250-257. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-29.

Авторский вклад. Авторский коллектив заявленный в статье 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. Производство баранины играет важную роль в глобальном рационе питания населения нашей страны как альтернатива импортозамещению высокобелкового продукта. В России стали активно разводить овец эдильбаевской породы как породу, хорошо приспособленную к круглогодичному пастбищному содержанию в самых экстремальных условиях для улучшения мясных качеств других пород. Другой не менее мясной породой, используемой для повышения мясных качеств районированных пород овец, является импортируемая из различных зарубежных стран порода дорпер. Отличительной особенностью этой породы является нежирное мясо и отсутствие специфического запаха, свойственного баранине.

Использование в селекционном процессе овец эдильбаевской породы способствовало улучшению мясных качеств овцеголовья ряда других отечественных пород [6, 11, 12].

В настоящее время повышение эффективности овцеводства и её конкурентоспособность во многом обусловлены мясной продуктивностью животных. При этом внимание отечественных исследователей направлено на широкое использование генетического потенциала овец эдильбаевской породы как при чистопородном разведении, так и при скрещивании [9].

Многочисленные исследования отечественных ученых [1-5, 7-10] свидетельствуют о высокой эффективности как чистопородного разведения овец эдильбаевской породы и породы дорпер, так и их скрещивания с другими породами. Однако представляет особый интерес скрещивание этих пород между собой для получения помесного молодняка с высокой энергией роста. Исходя из вышеизложенного целью наших исследований стало изучение мясных и откормочных качеств чистопородных эдильбаевских баранчиков и их сверстников – помесей $\frac{1}{2}$ кровности, полученных от спаривания баранов породы дорпер с овцематками эдильбаевской породы.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проведены в условиях ИП КФХ Шангераяев М. Г. Черноярского района Астраханской области на 30 головах баранчиков эдильбаевской и 30 головах дорпер – эдильбаевских помесей. Продолжительность опыта составила 210 дней от рождения и до 7 месячного возраста (таблица 1). Отбор животных в группы проводили по методике Овсянникова А. И. [Основы опытного дела. М.: «Колос», 1976] с учетом возраста, живой массы, состояния здоровья. Первая группа подопытного молодняка комплектовалась чистопородными эдильбаевские баранчиками, а вторая – помесями ½ кровности, полученными от спаривания маток эдильбаевской породы с баранами породы дорпер.

Таблица 1 – Общая схема исследований
Table 1 – General research scheme

Генотип / Genotype	Количество голов / Number of cattle	Длительность опыта, дней / Experience duration, days	Исследуемые показатели / Indicators under study
Эдильбаевская х Эдильбаевская / Edilbayevskaya x Edilbayevskaya	30	210	Динамика живой массы, абсолютный, среднесуточный прирост. Затраты кормов на единицу продукции. Убойные и мясные качества в 7 месячном возрасте. Экономические показатели исследований / Dynamics of live weight, absolute, average daily gain. Feed consumption per unit of production Slaughter and meat qualities at 7 months of age. Economic Research Indicators
Эдильбаевская х Дорпер / Edilbayevskaya x Dorper	30	210	

Живую массу баранчиков определяли при рождении, в 4 и 7 месяцев путем индивидуального взвешивания на электронных весах с точностью до 0,5 кг, утром до кормления. Абсолютный, среднесуточный прирост по формулам ($M_k - M_n$; $M_k - M_n/t$). Предубойную массу животных определяли путем голодной выдержки в течение 24 часов без доступа к корму и до 12 часов без поения. Убойные качества баранчиков оценивали путем убоя 3-х типичных для групп животных в 7-и месячном возрасте. Мясную продуктивность животных определяли по методике ВНИИМС (1984). Морфологический и сортовой состав туши и мяса по действующим методикам зоотехнических исследований. Биологическую полноценность мяса путем отношения аминокислоты триптофана к оксипролину.

Результаты и обсуждение. Условия кормления и содержания для животных разных групп были одинаковыми. Общая питательность рационов колебалась в зависимости от возраста: от рождения и до 4-х месяцев – 0,50-1,15 энергетических кормовых единиц и 103 г переваримого протеина; от 4 до 7 месяцев от 1,15 до 1,50 энергетических кормовых единиц и 101 г переваримого протеина.

Изучение роста и развития животных, с точки зрения закономерностей индивидуального развития организма в отдельные возрастные периоды, дает возможность управлять их энергией роста, выявлять этапы формирования мясной продуктивности. Цифровые показатели динамики живой массы абсолютного и среднесуточного приростов в зависимости от возраста животных отражены в рисунках 1-3.

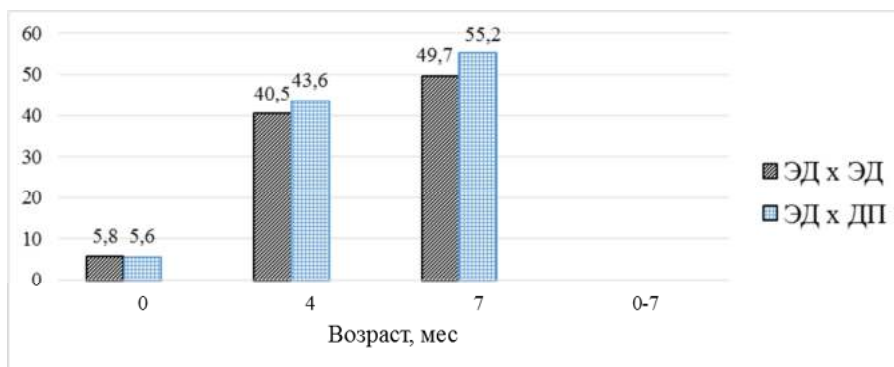


Рисунок 1 – Динамика живой массы баранчиков разных генотипов
Figure 1 – Dynamics of the live weight of sheep of different genotypes

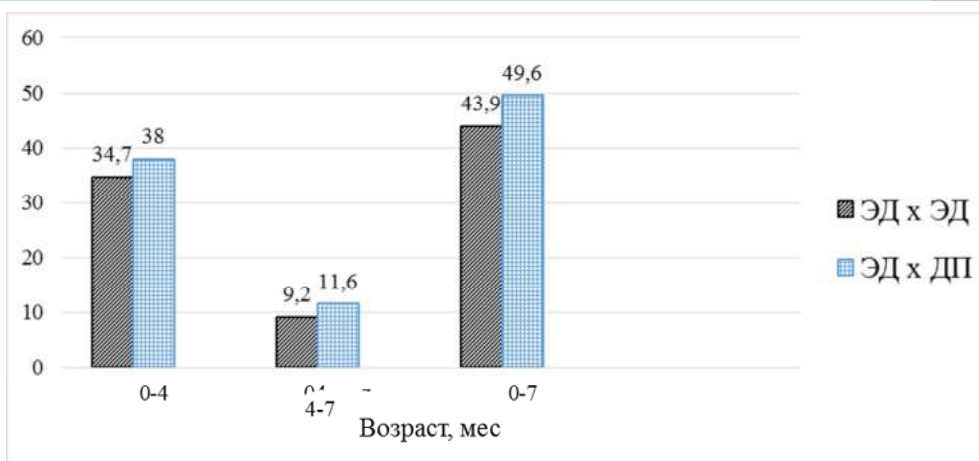


Рисунок 2 – Динамика абсолютного прироста баранчиков разных генотипов
Figure 2 – Dynamics of absolute growth of sheep of different genotypes

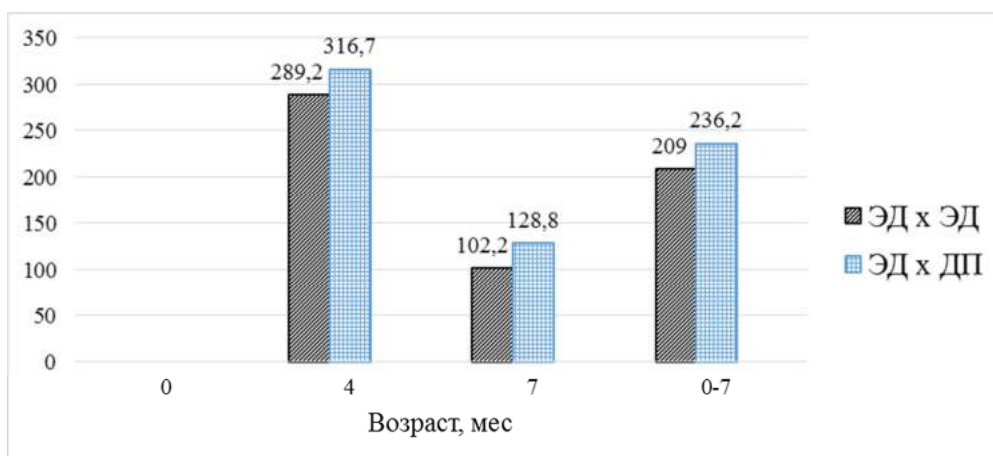


Рисунок 3 – Динамика среднесуточного прироста баранчиков разных генотипов
Figure 3 – Dynamics of the average daily growth of sheep of different genotypes

Разница между средними показателями живой массы при постановке на опыт составила 0,2 кг и была недостоверной, что свидетельствует о правильности подбора животных в группы. В 4-х месячном возрасте эдильбай-дорперские помеси достоверно ($P < 0,95$) чистопородных эдильбаевских сверстников на 3,1 кг или 7,65 %. В возрасте 7-и месяцев средняя живая масса эдильбай-дорперских помесей составила 55,2 кг, что на 5,5 кг или 11,07% выше по сравнению с их чистопородными сверстниками.

За весь период опыта абсолютный прирост живой массы в расчете на 1 голову у эдильбай-дорперских помесей составил 49,6 кг против 43,9 кг у чистопородных сверстников. Достоверная разница ($P < 0,95$) составила 5,7 кг или 12,98%. При этом наивысший среднесуточный прирост живой массы отмечен у помесных животных в возрасте от рождения до 4-х месячного возраста 316,7 г, что на 27,5 г выше аналогичного показателя у чистопородных эдильбаевских баранчиков. Среднесуточный прирост живой массы за период от 4 до 7 месяцев у помесных животных составил 128,8 г против 102,2 г у чистопородных сверстников. За весь период научно-хозяйственного опыта средний суточный прирост живой массы у эдильбай-дорперских помесей составил 236,2 г, что выше аналогичного показателя у чистопородных эдильбаевских сверстников на 27,2 г или 13,01%.

Общие затраты энергетических кормовых единиц за экспериментальный период опыта у чистопородных и помесных животных составили 273,6 переваримого протеина 21,45 кг. За этот же период прирост живой массы у чистопородных составил – 45,4 кг, у помесных – 51,1 кг.

Затраты кормов на 1 кг прироста живой массы у помесных баранчиков составили 5,35 энергетических кормовых единиц и 419,8 г переваримого протеина, против 6,03 и 472,5 у помесных животных. Таким образом, помесные баранчики на 1 кг прироста живой массы сэкономили 0,68 ЭКЕ и 52,7 г переваримого протеина.

Результаты контрольного убоя баранчиков в 7 месячном возрасте отражены на рисунке 4.

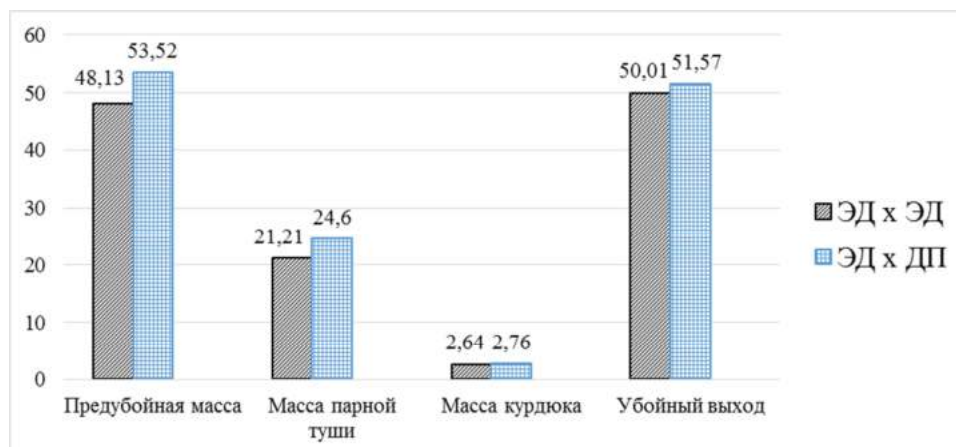


Рисунок 4 – Масса и выход продукции убоя баранчиков в 7 месячном возрасте

Figure 4 – Weight and yield of sheep slaughter products at 7 months of age

Разница в предубойной массе в пользу эдильбай-дорперских помесей составила 5,22 кг, или 10,85%, и была достоверной ($P < 0,05$). По массе парной туши эдильбай-дорперские помеси превосходили своих чистопородных эдильбаевских сверстников на 3,39 кг или 15,98% ($P < 0,05$). Анализ массы курдючного и внутреннего жира не дал достоверной разницы между чистопородными и помесными животными. Достоверно высокая разница ($P < 0,01$) в пользу эдильбай-дорперских баранчиков установлена по убойной массе 3,53 кг или 14,83%.

Морфологический состав туши представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Морфология туш баранчиков

Table 2 – Morphology of sheep carcasses

Показатель / Index	Группа / Group	
	Эд x Эд / Edilbayevskaya x Edilbayevskaya	Эд x Дп / Edilbayevskaya x Dorper
Возраст, мес. / Age, months	7	7
Масса туши, кг / Carcass weight, kg	21,21 ± 0,46	24,60 ± 0,40 *
Масса мякоти, кг / Meat pulp weight, kg	13,93 ± 0,30	16,56 ± 0,28
Выход мякоти, % / Pulp yield, %	65,21	67,32
Масса костей, кг / Bone weight, kg	4,52 ± 0,18	5,04 ± 0,20
Выход костей, % / Bone yield, %	21,31	20,49
Масса жира, кг / Fat mass, kg	2,86 ± 0,09	3,00 ± 0,11
Выход жира, % / Fat yield, %	13,48	12,19
Коэффициент мясности / Meat coefficient	3,75	3,88
Выход мякоти на 1 кг предубойной живой массы, г / Pulp yield per 1 kg of pre-slaughter live weight, g	289,42	309,41

По морфологическому составу туши как чистопородных, так и помесных баранчиков характеризовались большим выходом мякотной части – 65,21-67,32% соответственно. Однако эдильбай-дорперские помеси по этому показателю имели превосходство (2,11%) по сравнению с чистопородными сверстниками. Выход костей по группам варьировал от 4,52 до 5,04 кг или от 20,49 до 21,31%. Объективным показателем, поз-

воляющим судить о мясной продуктивности животных, является коэффициент мясности и выход мякоти на 1 кг предубойной живой массы. В наших исследованиях коэффициент мясности и выход мякоти на 1 кг предубойной живой массы у эдильбай-дорперских помесей был выше на 0,13 ед. и 19,99г по сравнению с чистопородными эдильбаевскими животными.

Расчеты по соотношению отдельных тканей в тушах подопытных баранчиков приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Соотношение тканей в тушах баранчиков
Table 3 – Tissue ratio in sheep carcasses

Соотношение тканей / Tissue Ratio	Группа / Group	
	Эд х Эд / Edilbayevskaya x Edilbayevskaya	Эд х Дп / Edilbayevskaya x Dorper
Мышечно-жировая / Muscle-fat	4,87	5,52
Мышечно-костная / Musculoskeletal	3,08	3,29
Жиро-костная / Fat-bone	0,63	0,60
Коэффициент мясности / Meat coefficient	3,75	3,88

Представленные данные свидетельствуют о превосходстве эдильбай-дорперских туш над чистопородными эдильбаевскими тушами по следующим соотношениям: по мышечно-жировому – на 13,4%, мышечно-костному – на 6,82%, по коэффициенту мясности на 3,47%.

Таблица 4 – Белковая полноценность мяса подопытных баранчиков
Table 4 – Protein value of meat of experimental sheep

Показатель / Index	Группа / Group	
	Эд х Эд / Edilbayevskaya x Edilbayevskaya	Эд х Дп / Edilbayevskaya x Dorper
Триптофан / Tryptophan	292,15 ± 2,58	312,74 ± 3,13 **
Оксипролин / Oxypoline	82,47 ± 1,45	76,13 ± 1,92
Белково-качественный показатель / Protein-quality indicator	3,54	4,11

В мякоти туши помесных баранчиков содержание триптофана было достоверно выше на 20,59 мг % (P 20,01) по сравнению с тушами чистопородных сверстников. Содержание же оксипролина оказалось выше в мясе чистопородных баранчиков 82,47 мг % против 76,13 мг % у помесных животных. Однако достоверной разницы по этому показателю не установлено. Белково-качественный показатель мяса эдильбай-дорперских составил 4,11, что на 0,57 или 16,10% выше по сравнению с мясом чистопородных эдильбаевских баранчиков.

Заключение. Таким образом, исследованиями установлено превосходство эдильбай-дорперских помесей над чистопородными эдильбаевскими сверстниками по весовому росту на 5,5 кг или 11,07% по убойной массе в 7 месячном возрасте на 3,53 кг или 14,83%, по выходу мякоти на 2,11% при экономии затрат на 1 кг прироста живой массы 0,68 ЭКЕ и 52,7 г переваримого протеина.

Conclusions. Thus, studies have established the superiority of Edilbai-Dorper hybrids over purebred Edilbai peers in weight growth by 5.5 kg or 11.07% in slaughter weight at 7 months of age by 3.53 kg or 14.83%, in pulp yield by 2.11%, while saving costs per 1 kg of live weight gain of 0.68 EQ and 52.7 g of digestible protein.

Библиографический список

1. Адучиев Б. К., Погодаев В. А., Сергеева Н. В. Мясная продуктивность баранчиков, полученных от скрещивания овцематок ставропольской породы с баранами кровностью ½ калмыцкая курдючная и + ½ дорпер. Зоотехния. 2021. № 1. С. 35-39.
2. Базаев С. О., Юлдушбаев Ю. А., Арилов А. Н. Качественная характеристика мяса калмыцких курдючных овец их помесей с баранами-производителями породы дорпер. Известия Оренбургского ГАУ. 2020. № 5 (85). С. 223-226.
3. Давлетова А. М., Косилов В. И. Убойные показатели баранчиков эдильбаевских овец. Овцы, козы, шерстяное дело. 2013. № 3. С. 66-69.

4. Двалишвили В. Г. Продуктивность мясной породы дорпер в России. Проблемы и перспективы повышения эффективности племенного животноводства и кормопроизводства: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Тверь, 2021. С. 64-67.
5. Колосов Ю. А., Дегтярь А. С., Гулько А. Е. Рост и развитие молодняка, полученного от скрещивания маток породы советский меринос и баранов породы дорпер. Селекция и технология производства продукции животноводства: материалы Международной научно-практической конференции. Персиановский, 2021. С. 25-28.
6. Лушников В. П., Молчанов А. В., Рамзов И. А. Мясная продуктивность баранчиков эдильбаевской породы разной масти с разной величиной курдюка. Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 4. С. 22-24.
7. Молчанов А. В., Егорова К. А., Лысова К. В. Использование баранов породы дорпер в различных вариантах скрещивания при производстве молодой баранины. Актуальные проблемы ветеринарной медицины, пищевых и биотехнологий: материалы Международной научно-практической конференции. Саратов, 2022. С. 483-487.
8. Погодаев В. А., Сергеева Н. В., Юлдашбаев Ю. А., Ерохин А. И., Карасев Е. А., Магоматов Т. А. Хозяйственно-полезные качества и биологические особенности овец, полученных от скрещивания пород калмыцкая курдючная и дорпер в условиях аридной зоны Калмыкии. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019. № 4. С. 58-76.
9. Саенко А. Ю. Мясная продуктивность молодняка эдильбаевской породы и её помесей с породой дорпер. Овцы, козы, шерстяное дело. 2022. № 4. С. 30-33.
10. Сергеева Н. В. Дорпер – перспективная мясная работа. Животноводство Юга России. 2016. № 7 (17). С. 19-21.
11. Чамурлиев Н. Г., Шперов А. С., Шангераев Г. М., Манжосов В. И. Весовой рост и убойные качества чистопородных и помесных баранчиков. Аграрно-пищевые инновации. 2022. № 2 (18). С. 37-45.
12. Юлдушбаев Ю. А., Косилов В. И., Траисов Б. Б. и др. Хозяйственно-биологические особенности овец эдильбаевской породы. Вестник мясного скотоводства 2015. Т. 4. № 92. С. 50-57.

References

1. Aduchiev B. K., Pogodaev V. A., Sergeeva N. V. Meat productivity of sheep obtained from crossing sheep of the Stavropol breed with sheep of blood type $\frac{1}{2}$ Kalmyk kurdyuchnaya and + $\frac{1}{2}$ dorper. Zootechnia. 2021. No 1. Pp. 35-39.
2. Bazaev S. O., Yuldushbaev Yu. A., Arilov A. N. Qualitative characteristics of meat of Kalmyk fat-tailed sheep of their crossbreeds with sheep- producers of the dorper breed. Izvestiya Orenburg SAU. 2020. No 5 (85). Pp. 223-226.
3. Davletova A. M., Kosilov V. I. Slaughter indicators of sheep of Edilbaevsky sheep. Sheep, goats, wool business. 2013. No 3. Pp. 66-69.
4. Dvalishvili V. G. Productivity of the dorper meat breed in Russia. Problems and prospects of improving the efficiency of livestock breeding and feed production: collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference. Tver, 2021. Pp. 64-67.
5. Kolosov Yu. A., Degtyar A. S., Gulko A. E. Growth and development of young animals obtained from crossing queens of the Soviet Merino breed and sheep of the Dorper Breeding and technology of livestock production: materials of the International Scientific and Practical Conference. Persianovsky, 2021. Pp. 25-28.
6. Lushnikov V. P., Molchanov A. V., Ramzov I. A. Meat productivity of sheep of the Edilbaev breed of different colors with different sizes of the kurdyuk. Sheep, goats, woolen business. 2017. No 4. Pp. 22-24.
7. Molchanov A. V., Egorova K. A., Lysova K. V. The use of Dorper sheep in various crossing variants in the production of young mutton. Current problems of veterinary medicine, food and biotechnology: materials of the International Scientific and Practical Conference. Saratov, 2022. Pp. 483-487.
8. Pogodaev V. A., Sergeeva N. V., Yuldashbaev Yu. A., Erokhin A. I., Karasev E. A., Magomadov T. A. Economically useful qualities and biological features of sheep obtained from crossing Kalmyk kurdyuchnaya and Dorper breeds in the conditions of the arid zone of Kalmykia. Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2019. No 4. Pp. 58-76.
9. Saenko A. Yu. Meat productivity of young animals of the Edilbaevsky breed and its hybrids with the Dorper breed. Sheep, goats, woolen business. 2022. No 4. Pp. 30-33.
10. Sergeeva N. V. Dorper – promising meat work. Animal husbandry of the South of Russia. 2016. No 7 (17). Pp. 19-21.
11. Chamurliiev N. G., Shperov A. S., Shangeraev G. M., Manzhosov V. I. Weight growth and slaughter qualities of purebred and crossbred sheep. Agrarian and food innovations. 2022. No 2 (18). Pp. 37-45.
12. Yuldushbaev Yu. A., Kosilov V. I., Traisov B. B., et al. Economic and biological features of sheep of the Edilbaev breed. Bulletin of meat cattle breeding. 2015. Vol. 4. No 92. Pp. 50-57.

Информация об авторах

Шперов Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Частная зоотехния», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: shperov2011@mail.ru

Чамурлиев Нодари Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Частная зоотехния», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Шангераев Гасан Магомедович, магистрант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Абдулхаликов Абдулла Махмудович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Author's Information

Shperov Aleksander Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Private Animal Science, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: shperov2011@mail.ru

Chamurliev Nodari Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of "Private Animal Science", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy ave., 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Shangaraev Hasan Magomedovich, Master's student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Abdulkhalikov Abdulla Makhmudovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University; (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-30

STUDY OF GENETIC RESISTANCE TO SCRAPIE IN SHEEP OF THE SOUTHERN MEAT BREED

Koshkina O. A., Deniskova T. E., Ivannikova A. V., Zinovieva N. A.

L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: olechka1808@list.ru

Received 12.03.2024

Submitted 22.05.2024

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. FGGN-2024-0015

Summary

The paper presents the results of the analysis of *PRNP* gene polymorphism in the southern meat breed of sheep bred in Russia. The results showed that sheep of the southern beef breed are free from the susceptible allele VRQ, but there is a high proportion of animals in the breed classified as undesirable for breeding class G3. The animals studied were resistant to the atypical form of scrapie. The results obtained in this study can be recommended for use in the breeding of sheep of the southern beef breed for the accumulation of genotypes resistant to pathogenic prion.

Abstract

Introduction. In modern Russia, there is a change in the economic importance of the main types of sheep products. In this regard, new meat sheep breeds are being created in the country, one of which is the Southern Meat breed. In national sheep breeding, marker-assisted selection is evolving actively, aimed at improving productive traits and disease resistance. Scrapie is a prion disease of sheep. The resistance or susceptibility of animals is determined by the polymorphism of the prion protein gene (*PRNP*). To reduce the proportion of sheep susceptible to scrapie, it is necessary to genotype the *PRNP* gene polymorphism and, based on the results, select breeding strategies. The aim of our research was the genetic characterization of breeding rams of the Southern Meat breed by genotypes in the *PRNP* gene to determine resistance to classical and atypical scrapie. **Object.** The research objects are samples of biological material from domestic sheep of the Southern Meat breed. **Materials and methods.** The studies were carried out on the equipment of Center for Biological Resources and Bioengineering of Agricultural Animals (L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry). A total of 77 Southern Meat rams were genotyped. The genetic resistance to scrapie was determined according to the methodological guidelines by Deniskova et al. **Results and conclusion.** The study showed the presence of five haplotypes (ARR, ARQ, ARH, AHQ and AHH) and eleven *PRNP* genotypes (ARR/ARR, ARR/ARQ, ARR/ARH, ARR/AHQ, ARQ/ARQ, ARQ/ARH, ARQ/AHQ, ARH/ARH, ARH/AHQ, ARH/AHH, AHQ/AHQ) in the Southern Meat breed. The most widespread haplotype among the animals in the study sample was ARQ, which occurred with a frequency of 39.6%. The AHH allele had the lowest frequency (2.6%). The most widespread genotype was ARQ/ARQ with frequency of 20.8% in the sample. The rarest genotype was ARH/AHQ, occurring with a frequency of 1.3%. The studied population was assigned to three classes of resistance to the classic scrapie (G1, G2 and G3). In the study group, most animals (71.4%) belonged to the G3 resistance class, while only two animals were the most genetically resistant to the classical form of scrapie (G1 class), which amounted to only 2.6% of the sample. The proportion of animals included in the G2 class was 26.0%. As for the atypical scrapie, all studied animals were resistant to it.

Keywords: meat breeds of sheep, genotypes of sheep, southern meat breed of sheep, prion diseases of sheep.

Citation. Koshkina O. A., Deniskova T. E., Ivannikova A. V., Zinovieva N. A. Study of genetic resistance to scrapie in sheep of the southern meat breed. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 257-266 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-30.

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 636.082

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К СКРЕПИ У БАРАНОВ ЮЖНОЙ МЯСНОЙ ПОРОДЫ

Кошкина О. А., научный сотрудник

Денискова Т. Е., кандидат биологических наук

Иванникова А. В., аспирант

Зиновьева Н. А., доктор биологических наук, профессор, академик РАН

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста»
пос. Дубровицы, г.о. Подольск, Московская область, Российская Федерация**Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ тема
№ FGGN-2024-0015**

Актуальность. В современной России происходит изменение экономической значимости основных видов продукции овцеводства. В связи с этим в стране создаются новые мясные породы овец, одной из которых стала южная мясная порода. В отечественном овцеводстве начинает активно развиваться маркер-ориентированная селекция, направленная на улучшение продуктивных качеств и устойчивости к заболеваниям. Скрепи – это прионная болезнь овец. Устойчивость или восприимчивость животных определяется полиморфизмом гена прионового протеина (*PRNP*). С целью снижения доли восприимчивых к скрепи овец необходимо проводить генотипирование полиморфизма гена *PRNP* и, основываясь на его результатах, выбирать селекционные стратегии. Целью наших исследований была генетическая характеристика баранов – производителей южной мясной породы по генотипам в гене *PRNP* для определения устойчивости к классической и атипичной формам скрепи. **Объект.** Объекты исследований – это образцы биологического материала домашних овец южной мясной породы. **Материалы и методы.** Исследования проводились на оборудовании центра коллективного пользования «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста. Всего было прогенотипировано 77 баранов южной мясной породы. Генетическую устойчивость овец к скрепи устанавливали согласно методическому руководству Денисковой с соавторами. **Результаты и выводы.** Проведенное исследование показало наличие в южной мясной породе пяти гаплотипов (ARR, ARQ, ARH, AHQ и AHH) и одиннадцати генотипов *PRNP* (ARR/ARR, ARR/ARQ, ARR/ARH, ARR/AHQ, ARQ/ARQ, ARQ/ARH, ARQ/AHQ, ARH/ARH, ARH/AHQ, ARH/AHH, AHQ/AHQ). Самым распространенным среди животных исследуемой выборки оказался гаплотип ARQ, который встречался с частотой 39,6%. Наименьшая частота встречаемости (2,6%) была определена у аллеля AHH. Наиболее распространенным генотипом был ARQ/ARQ с частотой встречаемости 20,8% в исследуемой выборке животных. Самым редким был генотип ARH/AHQ, встречающийся с частотой 1,3%. Исследованное поголовье было отнесено к трем классам устойчивости к классической форме скрепи (G1, G2 и G3). В изучаемой группе больше всего животных (71,4%) относились к классу устойчивости G3, в то время как всего два животных были наиболее генетически устойчивы к классической форме скрепи (класс G1), что составило лишь 2,6% от выборки. Доля животных, входящих в класс G2, составила 26,0%. Что касается атипичной формы скрепи, то все исследованные нами животные были устойчивы к ней.

Ключевые слова: мясные породы овец, генотипы овец, южная мясная порода овец, прионные болезни овец.

Цитирование. Кошкина О. А., Денискова Т. Е., Иванникова А. В., Зиновьева Н. А. Исследование генетической резистентности к скрепи у баранов южной мясной породы. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 257-266. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-30.

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. Одна из ключевых задач современного отечественного животноводства – сохранение локальных пород сельскохозяйственных животных, так как они обладают высокими адаптационными способностями и проявляют в полной мере свои продуктивные качества. В связи с тем, что в последние время в России происходят изменения экономической значимости основных видов продукции овцеводства, селекционеры все больше акцентируют внимание на повышении мясной продуктивности овец. Так как до недавнего времени в Российском породном генофонде было небольшое количество пород овец мяс-

ного направления, в стране начали выведение новых пород. Одной из них стала южная мясная порода, которая сочетает хорошую адаптацию к местным условиям и продуктивные качества улучшающей мясной породы [1].

Селекция южной мясной породы ведется, главным образом, основываясь на данных фенотипических характеристик [1, 2], в то время как маркер-ориентированная селекция только начинает внедряться. На сегодняшний день известны работы по генотипированию овец этой породы по таким генам, как дифференциальный фактор роста (*GDF9*) [3] и соматотропин (*GH*) [4]. Дополнительно ведется поиск новых генов-кандидатов, ассоциированных с живой массой, у овец южной мясной породы [5, 6, 7]. Однако ни в одном исследовании не изучалась устойчивость к заболеваниям.

Прионные болезни – это совокупность нейродегенеративных заболеваний, вызываемых неправильным свертыванием прионного белка (Prusiner S.B., 1998). Прионные белки – это возбудители трансмиссивных губчатых энцефалопатий (TSEs), которые являются разными и представляют собой группу прогрессирующих, неизлечимых и смертельных состояний, передающихся по наследству [8]. Характерная особенность трансмиссивных губчатых энцефалопатий (TSEs) – это накопление в центральной нервной системе патогенного, частично устойчивого к протеазам прионного белка (PrP^{Sc}). Развитие заболевания зависит от кодируемого аутосомным геном (*PRNP*) прионного белка (PrP^C), который необходим для патогенеза TSE (Prusiner S.B., 1993).

Ген *PRNP* располагается на 13 хромосоме овец и содержит 3 экзона с открытой рамкой считывания (open reading frame, ORF) в последнем экзоне, состоящей из 256 кодонов. Прионный белок (PrP^C) играет ключевую роль в транспортировке ионов меди, активации Т-клеток, а также в развитии нервной системы и нейропротекторной активности (Zomosa-Signoret V., 2008). Большинство молекул PrP^C прикреплены к клеточной мембране С-концевым гликозилфосфатидилинозитолом (Baylis M., 2004), в то время как инфекционная форма прионного белка (PrP^{Sc}) имеет иную структурную динамику. Ранее были идентифицированы специфические мотивы прионного белка, связанные с превращением PrP^C в PrP^{Sc} [9].

У сельскохозяйственных животных к известным TSE относят скрепи у овец и коз, губчатую энцефалопатию крупного рогатого скота (BSE) [10, 11, 12]. Впервые скрепи был выявлен в британских отарах овец в XVIII веке (Liberski P.P., 2008).

На сегодняшний день известно, что передача скрепи и восприимчивость животных к ней связана с генетикой овцы. Восприимчивость животных к скрепи обуславливается полиморфизмом в гене *PRNP* [13]. При исследовании кодирующей последовательности гена *PRNP* были обнаружены три полиморфных кодона (136, 154 и 171), приводящих к заменам A136V, R154H и Q171R / H171R, которые оказывают влияние на классическую восприимчивость к скрепи [14]. Восприимчивость к атипичной форме скрепи связана с полиморфизмом (L141F) в кодоне 141 (Benestad S.L., 2008). На сегодняшний день известно, что аминокислотные замены в кодонах 141 и 154 связаны с различными формами скрепи посредством изменения конфигурации белка, в то время как полиморфизм в кодоне 136 (A>V) повышает восприимчивость к классической скрепи, а полиморфизм в кодоне 171 (Q>R) обуславливает устойчивость у овец [15].

Согласно Национальному плану Великобритании по скрепи (National Scrapie Plan for Great Britain), на сегодняшний день известно 15 различных генотипов, относящихся к 5 классам устойчивости к классической форме скрепи. Наиболее устойчивым (класс G1) является генотип ARR/ARR, тогда как комбинацию аллелей ARR/XXX (кроме VRQ) относят к классу G2. Небольшой устойчивостью к скрепи (класс G3) обладают животные с аллелями ARQ, AHQ, ARH. Животные с генотипом ARR/VRQ считаются генетически восприимчивыми к скрепи, их относят к классу устойчивости G4. Остальные комбинации аллелей VRQ/XXX соответствуют классу G5 и характеризуются высокой восприимчивостью овец к классической форме скрепи (DEFRA, National Scrapie Plan for Great Britain; 2006). Что касается атипичной формы скрепи, животные с аллелями ARR, AHQ и ARQ совместно с гомозиготностью по фенилаланину (F) в 141 кодоне наиболее восприимчивы (Moreno C.R., 2007).

На основании вышеизложенного, считаем целесообразным проводить генотипирование овец на выявление полиморфизмов гена *PRNP* с целью увеличения частоты аллеля ARR в отарах овец, что позволит улучшить контроль над скрепи. В последнее время во многих странах ведутся исследования полиморфизма гена *PRNP* местных пород овец с целью определения устойчивости/восприимчивости к скрепи.

В 2012 году, основываясь на результатах анализа полиморфизма гена прионного белка *PRNP*, был обнаружен высокий риск заболевания скрепи у овец на северо-западе Китая (Zhao C.L., 2012). В том же году была проведена оценка генетической изменчивости гена *PRNP* у иранских и турецких овец (Frootan F., 2012).

В 2017 году Stepanek O. и Horin P. оценили влияние Чешской национальной программы разведения на частоты устойчивого гаплотипа ARR и восприимчивого VRQ, а также на частоту устойчивых генотипов ARR/ARR гена прионного белка *PRNP* у 34 пород овец, разводимых в Чешской республике [16]. Как и предполагалось, авторы выявили положительный эффект на частоты наиболее устойчивых гаплотипа ARR и генотипа ARR/ARR, а также на частоту наиболее восприимчивого гаплотипа VRQ во всех исследуемых породах.

Также был проведен мониторинг генетической резистентности российских пород овец к скрепи, в результате которого в российских отарах овец были обнаружены восприимчивые к скрепи особи [17, 18].

В 2020 году было проведено исследование влияния отбора на устойчивость к скрепи на генетическую изменчивость шести автохтонных пород овец в провинции Больцано в северной Италии. Bordin F. с соавтр. выявили, что исключение из разведения баранов, относящихся к классам устойчивости G4 и G5 (несущих восприимчивый аллель VRQ), не влияет на генетическую изменчивость отар, и в то же время более строгий отбор (сохранение для дальнейшего разведения лишь особей классов G1 и G2) влечет за собой лишь незначительное снижение генетического разнообразия [19].

Не так давно начата работа по анализу полиморфизма гена *PRNP* у африканских пород овец. Так, в 2020 году были прогенотипированы три аборигенные эфиопские породы на восприимчивость к скрепи [20]. Позднее, в 2023 году были исследованы 126 нигерийских овец, в результате чего авторы приходят к выводу о том, что овцы Нигерии восприимчивы к скрепи, и предлагают вести дальнейшую селекцию с учетом результатов генотипирования полиморфизма гена *PRNP* [21].

В России на основании приказа Минсельхоза России от 29 июня 2021 года № 424 (<https://docs.cntd.ru/document/607868529>) действуют правила осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов скрепи овец и коз. К тому же, в соответствии с Решением Комиссии таможенного союза «О применении ветеринарно-санитарных мер в Евразийском экономическом союзе» от 18 июня 2010 года № 317 (https://vetserbprud.ru/images/docs/dokumenty/normativnue_dokumenty/05.2022/36._Решение_317_О_применении_ветеринарно-санитарных_мер_в_ЕЭС.pdf), на таможенную территорию Евразийского экономического союза и (или) перемещению между государствами-членами допускаются здоровые убойные животные, племенные, свободные от заразных заболеваний, в т.ч. скрепи. В связи с этим предполагаем, что своевременное определение восприимчивых животных к скрепи – актуальная задача в России на сегодняшний день.

Все проведенные ранее исследования говорят о наличии в отарах овец, восприимчивых к скрепи. С целью снижения восприимчивости овец к скрепи необходимо проводить генотипирование полиморфизма *PRNP* и вести дальнейшую селекцию, основываясь на его результатах. Поэтому считаем целесообразным проведение крупномасштабного скрининга отар овец, разводимых на территории Российской Федерации, на полиморфизм гена *PRNP*.

Исходя из этого целью нашей работы стала генетическая характеристика баранов-производителей южной мясной породы по гену *PRNP* для определения классов устойчивости к классической и атипичной формам скрепи.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Получить целевой фрагмент ДНК посредством ПЦР с последующей его очисткой.

2. Выполнить секвенирование по Сэнгеру фрагмента гена *PRNP* у исследованных животных с последующей обработкой полученных данных.

3. Определить аллельные варианты интересующих нас кодов гена *PRNP* (136, 141, 156 и 171) и посчитать частоты встречаемости аллелей и генотипов.

4. Установить принадлежность изучаемых овец к известным классам устойчивости к классической и атипичной формам скрепи.

Материалы и методы. В качестве биологического материала для молекулярно-генетического исследования использовали ушные выщипы от баранов южной мясной породы ($n=77$). Образцы ткани овец были получены из биобанка «Банк генетического материала домашних и диких видов животных и птицы» (зарегистрирован Минобрнауки РФ № 498808), созданной и поддерживаемой в ФГБНУ ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста.

Исследование проводили на базе оборудования центра коллективного пользования «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л. К. Эрнста.

Генетическую устойчивость овец к скрепи устанавливали согласно методическому руководству Денисовой с соавтр. [22].

ДНК из ткани выделяли с помощью набора ДНК-Экстран-2 (ЗАО «Синтол», Россия) согласно протоколу производителя. ПЦР-амплификацию фрагмента прионового протеина овец длиной 670 п.о. (Chr. 13: 46655005–46655674; Ramb_v2.0) выполняли согласно методическому руководству с использованием следующей пары праймеров:

Forward 5' – TGCAAGAAGCGACCAAAACC- 3';

Reverse 5' – TGAGGAGGATCACAGGAGGG- 3'.

Детекцию результатов ПЦР проводили в 1,5%-ом агарозном геле с помощью колориметрической системы документации на геле Uvitec FireReader V10 imaging System (Cleaver scientific, Великобритания).

Очистку амплифицированных фрагментов ДНК проводили с использованием набора для очистки ДНК Cleanup S-Cap (Евроген, Россия). Затем выполняли измерение концентрации очищенного ампликона с использованием прибора Quibit 4.0 (Thermo Fisher Scientific, США).

Постановку сиквенсной реакции выполняли с использованием набора ГенСек 2.0 (ООО Синтол, Москва) согласно стандартному протоколу производителя. Очистку продуктов сиквенсной реакции осуществляли с помощью набора SQ-Magno-Clean (НПФ Эпитоп, Санкт-Петербург). Секвенирование целевого фрагмента ДНК по Сэнгеру проводили на генетическом анализаторе Нанофор 05 (ООО Синтол, Москва).

Обработку полученных данных выполняли в программах Mutation Surveyor V5.1.2 и Mega 7.0.26. Частоты встречаемости аллелей и генотипов рассчитывали в программном обеспечении MS Excel. Определение классов устойчивости к классической и атипичной формам скрепи исследуемых овец проводили согласно методическому руководству [22].

Результаты и обсуждение. В результате амплификации фрагмента гена *PRNP* нами были получены целевые фрагменты ДНК длиной 670 п.о. у 77 баранов южной мясной породы. На рисунке 1 представлен фрагмент электрофореграммы проверки результатов постановки ПЦР.



Рисунок 1 – электрофореграмма результатов амплификации целевого фрагмента ДНК
Figure 1 – Electrophoregram of the amplification results of the target DNA fragment

Как показано на рисунке 1, из электрофореграммы следует, что целевой фрагмент ДНК в лунках 1-15 нарабатывается без неспецифических фрагментов и соответствует заявленной длине в 670 п.о. в соответствии с маркером молекулярного веса (лунка 16). Полученные фрагменты ДНК (n=77) были использованы для следующего этапа исследования – секвенирования по Сэнгеру.

В ходе проведения секвенирования и дальнейшей обработки полученных данных нами были получены сиквенсы 77 животных, фрагменты которых изображены на рисунке 2.

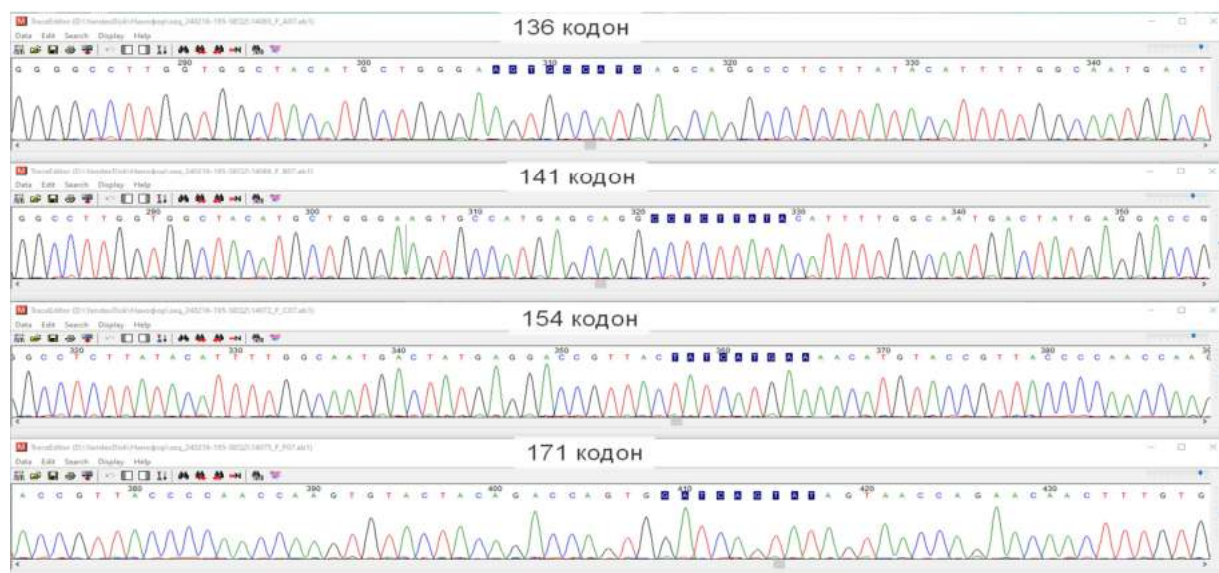


Рисунок 2 – Хроматограмма секвенирующей реакции с обработанной нуклеотидной последовательностью

Figure 2 – Chromatogram of sequencing reaction with processed nucleotide sequence

В качестве примера на рисунке 2 представлены фрагменты полученных сиквенсов в интересующих нас кодонах. Как мы видим, пробы овец, изображенных на рисунке, имеют нуклеотидные последовательности в кодонах 136 («GCC»), 141 («CTT»), 154 («CAT») и 171 («CAG»), что соответствует аминокислотам аланин (А), лейцин (L), гистидин (Н) и глутамин (Q).

Как известно, устойчивость/восприимчивость к классической форме скрепи определяется на основании результатов полиморфизма трех кодонов 136, 154 и 171. Проведенное исследование показало наличие в южной мясной породе пяти гаплотипов (ARR, ARQ, ARH, AHQ и AHH) и одиннадцати генотипов *PRNP* (ARR/ARR, ARR/ARQ, ARR/ARH, ARR/AHQ, ARQ/ARQ, ARQ/ARH, ARQ/AHQ, ARH/ARH, ARH/AHQ, ARH/AHH, AHQ/AHQ). В таблице 1 представлены частоты встречаемости аллельных вариантов гена прионового белка в южной мясной породе.

Таблица 1 – Частота встречаемости гаплотипов гена прионового белка *PRNP* в южной мясной породе овец

Table 1 – Frequency of haplotypes of the *PRNP* prion protein gene in the southern meat breed of sheep

Аллель / Allele	Количество аллелей / Number of alleles	Частота встречаемости / Frequency of occurrence
ARR	24	0,156
ARQ	61	0,396
ARH	42	0,273
AHQ	23	0,149
AHH	4	0,026

Как видно из таблицы 1, самым распространенным среди животных исследуемой выборки оказался гаплотип ARQ, который встречался с частотой 39,6%. Наименьшая частота встречаемости 2,6% была определена у аллеля AHH.

Распределение генотипов по гену прионового белка *PRNP* и классов устойчивости к классической форме скрепи в южной мясной породе овец представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение генотипов по гену прионового белка *PRNP* и классов устойчивости к классической форме скрепи в южной мясной породе овец
Table 2 – Distribution of genotypes for the prion protein gene *PRNP* and classes of resistance to the classical form of scrapie in the southern meat breed of sheep

Генотип 136/154/171 / Genotype 136/154/171	Количество животных / Number of animals	Частота встречаемости / Frequency of occurrence
ARR/ARR	2	0,026
ARR/ARQ	7	0,091
ARR/ARH	9	0,117
ARR/AHQ	4	0,052
ARQ/ARQ	16	0,208
ARQ/ARH	8	0,104
ARQ/AHQ	14	0,182
ARH/ARH	10	0,130
ARH/AHQ	1	0,013
ARH/AHH	4	0,052
AHQ/AHQ	2	0,026

Исходя из данных таблицы 2 наиболее распространенным оказался генотип ARQ/ARQ с частотой встречаемости 20,8% в исследуемой выборке животных. Самым редким был генотип ARH/AHQ, встречающийся с частотой 1,3%.

При отнесении полученных генотипов овец к известным классам устойчивости к классической форме скрепи было выявлено наличие трех классов устойчивости (G1, G2 и G3) в исследуемой выборке. Наиболее распространенными (71,4%) оказались животные, относящиеся к классу устойчивости G3 (генотипы ARQ/ARQ, ARQ/ARH, ARQ/AHQ, ARH/ARH, ARH/AHQ, ARH/AHH, AHQ/AHQ), в то время как всего два животных с генотипом ARR/ARR были генетически наиболее устойчивы к классической форме скрепи (класс G1), что составило лишь 2,6% от выборки. Доля животных, входящих в класс G2, составила 26,0%.

Стоит отметить, что в данной выборке не было обнаружено животных с классами устойчивости G4 и G5, что говорит об отсутствии наиболее восприимчивого к скрепи аллеля VRQ. Однако была выявлена высокая доля животных с классом G3 (71,4%), которых, согласно рекомендациям, нежелательно использовать для дальнейшего разведения по причине отсутствия устойчивого аллеля ARR. Поэтому рекомендуется вести селекцию южной мясной породы в соответствии с полученными данными о выявленных генотипах, так как наличие животных с классами G1 и G2 позволит вести отбор на закрепление устойчивых генотипов овец в стаде.

В случае с атипичной формой скрепи ситуация иная – овцы, восприимчивые к этой форме, обычно имеют генотипы *PRNP*, связанные с низким риском заболевания. Восприимчивость к атипичной форме скрепи определяется полиморфизмом в 141 кодоне (L141F). В нашем исследовании все животные (n=77) были гомозиготными по лейцину, вне зависимости от гаплотипов трех других кодонов (136, 154 и 171). На основании полученных результатов возможно предположить, что южная мясная порода устойчива к атипичной форме скрепи (Nor98), однако следует продолжить исследование на большем поголовье.

Обсуждение. Проведенное исследование – начало мониторинга генетической резистентности к двум известным формам скрепи у овец южной мясной породы. В целом ситуация в породе приемлемая и схожа с полученными ранее результатами у других пород. Например, у эфиопских [20], нигерийских [21], итальянских [19] и российских [17, 18] пород овец с наибольшей частотой встречался аллель ARQ, как и в нашем исследовании. В связи с высокой частотой встречаемости гаплотипа ARQ в породе был обнаружен высокий процент особей, относящихся к классу устойчивости G3 также, как и в турецких и иранских (Frootan F., 2012), эфиопских [21] и итальянских [19] породах до проведения в них селекции, направленной на увеличение количества устойчивых к скрепи генотипов. Подобная

практика была проведена на чешских породах, в результате которой был получен положительный эффект увеличения частоты устойчивых гаплотипа ARR и генотипа ARR/ARR, а также снижением частоты восприимчивого гаплотипа VRQ к классической форме скрепи [16].

Рассмотрим более подробно ситуацию с российскими породами. На основании полученных ранее результатов тонкорунные породы овец, разводимые в России, характеризовались наличием всех пяти классов устойчивости (G1-G5) [17].

В то же время есть породы, такие как и южная мясная, свободные от наиболее восприимчивых классов (G4, G5), такие как дагестанская горная, кулундинская, забайкальская и северокавказская. Однако такой высокий процент встречаемости животных с нежелательным классом устойчивости G3 (71,4%) был выявлен только в нашем исследовании. Значительное количество животных, входящих в класс G3, также было определено в породах волгоградская и советский меринос (60 и 56,25%, соответственно). Низкая частота встречаемости (менее 10%) устойчивого класса G1, как и в нашем исследовании, была выявлена в породах грозненская, дагестанская горная, горноалтайская, волгоградская, цигайская и советский меринос. В целом ситуация в России требует проведения направленной селекции на снижение количества восприимчивых животных к скрепи. Желательно добиться такой же, как в Чешской Республике тенденции в отечественных породах овец для того, чтобы снизить риск возникновения вспышки скрепи двух форм в российских хозяйствах. С этой целью важно проводить мониторинг генетической резистентности к двум известным формам скрепи и вести дальнейшую селекцию породы в соответствии с полученными данными.

Заключение. Таким образом, полученные результаты позволили оценить аллелофонд баранов южной мясной породы, разводимой на территории Российской Федерации. Выявлена положительная тенденция отсутствия в породе восприимчивого к классической форме скрепи гаплотипа VRQ. В то же время в породе выявлен дефицит животных с устойчивым генотипом ARR/ARR, доля которых составила лишь 2,6%. Основную часть породы (71,4%) составили животные, относящиеся к классу устойчивости G3, которые нежелательны для дальнейшего разведения. В связи с этим считаем необходимым проводить в породе селекционные программы, направленные на накопление устойчивых к патогенному приону генотипов. При этом в южной мясной породе отсутствуют животные, несущие нежелательный аллель в 141 кодоне, который кодирует аминокислоту фенилаланин (F), что говорит об устойчивости к атипичной форме скрепи. Однако рекомендуем продолжать генотипирование по четырем известным кодомам для поддержания выявленной положительной тенденции.

В дальнейшем планируется продолжение генотипирования на большей выборке овец южной мясной породы следующих поколений с целью мониторинга генетической резистентности к классической и атипичной формам скрепи в породе.

Conclusions. Thus, the obtained results allowed us to evaluate the allele pool of the Southern Meat sheep breed raised in the Russian Federation. The positive tendency of absence of VRQ haplotype susceptible to the classical scrapie in the breed was revealed. At the same time, a deficit of animals with resistant genotype ARR/ARR was revealed in the breed, the share of which was only 2.6%. The largest number of sheep (71.4%) belonged to class G3 and were undesirable for further breeding. In this regard, we considered that the implementation of the breeding programs aimed at accumulation of resistant to pathogenic prion genotypes in this breed is required. At the same time, there are no animals in the Southern Meat breed that carry an undesirable allele in 141 codons encoding an amino acid phenylalanine (F) that indicates on the resistance to the atypical scrapie. However, we recommend continuing genotyping at the four known codons to maintain the identified positive trend. In the future, we will continue genotyping for a larger sample of next generations of Southern Meat sheep to monitor genetic resistance to classical and atypical scrapie in this breed.

Библиографический список

1. Ульянов А. Н., Куликова А. Я. Селекционно-генетические аспекты повышения продуктивности овец южной мясной породы. Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. № 3. С. 15-17.
2. Куликова А. Я. Мясная продуктивность овец южной мясной породы на юге России. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 103. С. 219-225.
3. Куликова А. Я. Полиморфизм гена дифференциального фактора роста (GDF9) у овец южной мясной породы. Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2023. Т. 12. № 2. С. 13-17.
4. Куликова А. Я. Полиморфизм гена соматотропина (GH) у овец южной мясной породы. Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2023. Т. 12. № 1. С. 13-17.

5. Шевцова В. С., Куликова А. Я., Гетманцева Л. В., Усатов А. В. Новые гены-кандидаты живой массы, выявленные у овец южной мясной породы на основе полногеномного гентипирования. Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 3. С. 251-262.
6. Кошкина О. А., Денискова Т. Е., Зиновьева Н. А. Разработка и апробация тест-системы определения полиморфизма генов DGKH и PPP1R1C, ассоциированных с живой массой овец. Аграрная наука. 2023. № 377 (12). С. 80–84.
7. Соловьева А. Д., Кошкина О. А. Исследование полиморфизма перспективного гена-кандидата RIPK2 у овец. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4. С. 134-141.
8. Ascari L. M., Rocha S. C., Gonçalves P. B., et al. Challenges and advances in antemortem diagnosis of human transmissible spongiform encephalopathies. Front Bioeng Biotechnol. 2020. No. 8. Pp. 1-22.
9. Requena J. R. The protean prion protein. PLoS Biol. 2020. No. 18. Pp. 1-8.
10. Kim S. K., Kim Y. C., Won S. Y., Jeong B. H. Potential scrapie-associated polymorphisms of the prion protein gene (PRNP) in Korean native black goats. Sci Rep. 2019. No 9 (1). P. 15293.
11. Гладырь Е. А., Денискова Т. Е., Багиров В. А. и др. Характеристика аллелофонда романовской породы овец по гену прионового белка, ассоциированного с генетической устойчивостью к скрепи. Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 6. С. 1157-1165.
12. Teferedegn E. Y., Can H., Erkunt Alak S., Ün C. Low frequency of protective variants at regulatory region of PRNP gene indicating the genetically high risk of BSE in Ethiopian Bos indicus and Bos taurus africanus. Anim Biotechnol. 2023. No 34 (6). Pp. 1931-1936.
13. Gelasakis A. I., Boukouvala E., Babetsa M., et al. Polymorphisms of codons 110, 146, 211 and 222 at the goat PRNP locus and their association with scrapie in greece. Animals. 2021. No. 11. P. 2340.
14. Andrade C. P., Neto J. D. B., Driemeier D. Identification of single nucleotide polymorphisms in the prion protein gene in Santa Ines and Dorset sheep. Pesqui Vet Bras. 2018. No. 38. Pp. 624-628.
15. Acín C., Bolea R., Monzón M., et al. Classical and atypical scrapie in sheep and goats: review on the etiology, genetic factors, pathogenesis, diagnosis, and control measures of both diseases. Animals. 2021. No. 11. Pp. 1-20.
16. Stepanek O., Horin P. Genetic diversity of the prion protein gene (PRNP) coding sequence in Czech sheep and evaluation of the national breeding program for resistance to scrapie in the Czech Republic. Journal of applied genetics. 2017. No 58 (1). Pp. 111–121.
17. Гладырь Е. А., Денискова Т. Е., Багиров В. А. и др. Характеристика аллелофонда романовской породы овец по гену прионового белка, ассоциированного с генетической устойчивостью к скрепи. Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 6. С. 1157-1165.
18. Денискова Т. Е., Костюнина О. В., Селионова М. И. и др. Мониторинг генетической резистентности 14 российских пород овец к скрепи. Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. № 1. С. 15-17.
19. Bordin F., Dalvit C., Caldon M., et al. Genetic variability following selection for scrapie resistance in six autochthonous sheep breeds in the province of Bolzano (northern Italy). Journal of animal breeding and genetics. 2020. No. 137(4). Pp. 395-406.
20. Teferedegn E. Y., Yaman Y., Ün C. Five novel PRNP gene polymorphisms and their potential effect on Scrapie susceptibility in three native Ethiopian sheep breeds. BMC veterinary research. 2020. No 16 (1). P. 122.
21. Adeola A. C., Bello S. F., Abdussamad A. M., et al. Polymorphism of prion protein gene (PRNP) in Nigerian sheep. Prion. 2023. No 17 (1). Pp. 44-54.
22. Денискова Т. Е., Кошкина О. А., Гладырь Е. А. и др. ДНК-диагностика устойчивости овец к скрепи: методическое руководство. Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста. 2023. 48 с.

References

1. Ulyanov A. N., Kulikova A. Ya. Breeding and genetic aspects of increasing the productivity of sheep of southern meat breed. Sheep, goats, wool business. 2019. № 3. Pp. 15-17.
2. Kulikova A. Y. Meat productivity of sheep of southern meat breed in the south of Russia. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023. № 103. Pp. 219-225.
3. Kulikova A. Y. Polymorphism of differential growth factor gene (GDF9) in sheep of southern meat breed. Collection of scientific works of Krasnodar scientific center for zootechnics and veterinary medicine. 2023. V. 12. № 2. Pp. 13-17.
4. Kulikova A. Y. Polymorphism of somatotropin gene (GH) in sheep of southern meat breed. Collection of scientific works of Krasnodar scientific center for zootechnics and veterinary medicine. 2023. V. 12. № 1. Pp. 13-17.
5. Shevtsova V. S., Kulikova A. Y., Getmantseva L. V., Usatov A. V. New candidate genes of live weight identified in sheep of southern meat breed on the basis of full-genome genotyping. Socio-ecological technologies. 2023. V. 13. № 3. Pp. 251-262.
6. Koshkina O. A., Deniskova T. E., Zinovieva N. A. Development and approbation of test-system for determination of polymorphism of DGKH and PPP1R1C genes associated with live weight of sheep. Agrarian science. 2023. № 377 (12). Pp. 80-84.
7. Solovieva A. D., Koshkina O. A. Study of polymorphism of a promising candidate gene RIPK2 in sheep. Izvestia Samara State Agricultural Academy. 2023. № 4. Pp. 134-141.
8. Ascari L. M., Rocha S. C., Gonçalves P. B., et al. Challenges and advances in antemortem diagnosis of human transmissible spongiform encephalopathies. Front Bioeng Biotechnol. 2020. No. 8. Pp. 1-22.
9. Requena J. R. The protean prion protein. PLoS Biol. 2020. No. 18. Pp. 1-8.
10. Kim S. K., Kim Y. C., Won S. Y., Jeong B. H. Potential scrapie-associated polymorphisms of the prion protein gene (PRNP) in Korean native black goats. Sci Rep. 2019. No 9 (1). P. 15293.
11. Gladyr E. A., Deniskova T. E., Bagirov V. A., et al. Characterization of the allelofond of Romanov sheep breed by the gene of prion protein associated with genetic resistance to scrapie. Agricultural Biology. 2017. V. 52. № 6. Pp. 1157-1165.

12. Teferedegn E. Y., Can H., Erkunt Alak S., Ün C. Low frequency of protective variants at regulatory region of PRNP gene indicating the genetically high risk of BSE in Ethiopian *Bos indicus* and *Bos taurus africanus*. *Anim Biotechnol*. 2023. No 34 (6). Pp. 1931-1936.
13. Gelasakis A. I., Boukouvala E., Babetsa M., et al. Polymorphisms of codons 110, 146, 211 and 222 at the goat PRNP locus and their association with scrapie in Greece. *Animals*. 2021. No. 11. P. 2340.
14. Andrade C. P., Neto J. D. B., Driemeier D. Identification of single nucleotide polymorphisms in the prion protein gene in Santa Ines and Dorset sheep. *Pesqui Vet Bras*. 2018. No. 38. Pp. 624-628.
15. Acín C., Bolea R., Monzón M., et al. Classical and atypical scrapie in sheep and goats: review on the etiology, genetic factors, pathogenesis, diagnosis, and control measures of both diseases. *Animals*. 2021. No. 11. Pp. 1-20.
16. Stepanek O., Horin P. Genetic diversity of the prion protein gene (PRNP) coding sequence in Czech sheep and evaluation of the national breeding program for resistance to scrapie in the Czech Republic. *Journal of applied genetics*. 2017. No. 58(1). Pp. 111-121.
17. Gladyr E. A., Deniskova T. E., Bagirov V. A., et al. Characterization of the allelofond of Romanov sheep breed by the gene of prion protein associated with genetic resistance to scrapie. *Agricultural Biology*. 2017. V. 52. № 6. Pp. 1157-1165.
18. Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Selionova M. I., et al. Monitoring of genetic resistance of 14 Russian sheep breeds to scrapie. Sheep, goats, wool business. 2019. № 1. Pp. 15-17.
19. Bordin F., Dalvit C., Caldon M., et al. Genetic variability following selection for scrapie resistance in six autochthonous sheep breeds in the province of Bolzano (northern Italy). *Journal of animal breeding and genetics*. 2020. No 137 (4). Pp. 395-406.
20. Teferedegn E. Y., Yaman Y., Ün C. Five novel PRNP gene polymorphisms and their potential effect on Scrapie susceptibility in three native Ethiopian sheep breeds. *BMC veterinary research*. 2020. No 16 (1). P. 122.
21. Adeola A. C., Bello S. F., Abdussamad A. M., et al. Polymorphism of prion protein gene (PRNP) in Nigerian sheep. *Prion*. 2023. No 17 (1). Pp. 44-54.
22. Deniskova T. E., Koshkina O. A., Gladyr E. A., et al. DNA diagnostics of sheep resistance to scrapie. Methodical guide. Dubrovitsy: FRC VIZh L. K. Ernst. 2023. 48 p.

Информация об авторах

Кошкина Ольга Андреевна, аспирант, младший научный сотрудник ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-4830-6626, e-mail: olechka1808@list.ru

Денискова Татьяна Евгеньевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0002-5809-1262, e-mail: horarka@yandex.ru

Иванникова Александра Викторовна, аспирант ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60), e-mail: ivannikova_sacha@mail.ru

Зиновьева Наталия Анатольевна, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, директор ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-4017-6863, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru

Author's Information

Koshkina Olga Andreevna, postgraduate student, junior researcher, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk, Dubrovitsy settlement, 60), orcid.org/0000-0003-4830-6626, e-mail: olechka1808@list.ru

Deniskova Tatiana Evgenievna, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk, Dubrovitsy settlement, 60), orcid.org/0000-0002-5809-1262, e-mail: horarka@yandex.ru

Ivannikova Alexandra Viktorovna, postgraduate student, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk, Dubrovitsy settlement, 60), e-mail: ivannikova_sacha@mail.ru

Zinovieva Natalia Anatolievna, Academician of RAS, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk, Dubrovitsy settlement, 60), orcid.org/0000-0003-4017-6863, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-31

EFFICIENCY OF USING NEW LECITHIN-CONTAINING FEED ADDITIVES IN THE DIETS OF RED STEPPE COWS

Brekhova S. A., Slozhenkina M. I., Abramov S. V., Balyshhev A. V., Vorontsova E. S., Gorlov I. F.

*Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 09.04.2024

Submitted 20.05.2024

Research carried out within the framework of a state assignment GNU NIIMMP 2022-2024

Abstract

Introduction Study of the influence of new feed additives “Lecithomax” and “Lecitomix” on the physiology and productivity of red steppe cows. **Materials and Methods.** The object of the research was cows of the red steppe breed, whose diet included new feed additives based on lecithin: “Lecito-max” in the I experi-

mental group and "Lecitomix" in the II experimental group. As a result of experience at LLC PZK im. Lenin" (Volgograd region, Lobakin farm) from 30 heads of cattle, 3 groups were formed: the first group (control) received the basic diet, the second group was fed with the new feed additive "Lecitomax" at the rate of 250 g/t of feed, the third group with using the new feed additive "Lecitomix" at a rate of 250 g/t of feed. The economic and biological cows of the red steppe breed and milk productivity were also studied. To introduce feed additives into the diet, stepwise mixing technologies were used. **Results.** An increase in average daily milk yield was revealed by 4.0 and 9.7% in cows that received the Lecithomax and Lecitomix supplements, respectively. The inclusion of feed additives "Lecithomax" and "Lecitomix" into the diet of red steppe cows allowed to increase the fat content in milk by 0.01 and 0.03%, protein by 0.11 and 0.20%, respectively ($P \geq 0.999$ and $P \geq 0.999$), lactose by 0.06 and 0.08% ($P < 0.05$ and $P \geq 0.95$), skimmed milk solids by 0.08 and 0.12% ($P \geq 0.999$ and $P \geq 0.999$). As a result of assessing the protective forces of the body of cows of various groups during lactation, a fairly high level of their natural resistance was established, while I and II experimental groups significantly ($P \geq 0.95$ in all cases) exceeded the control group by 4.71 and 4.74%, respectively according to bactericidal activity of blood serum, by 4.49 and 4.69% – by lysozyme activity of blood serum, by 1.71 and 1.93% – by phagocytic activity of blood. **Conclusion.** It has been established that the use of a new feed additive based on lecithin has a positive effect on the quality of milk and milk productivity of red steppe cows, as well as on their immune status.

Keywords: red steppe breed of cows, lecitomax, lecitomix, milk productivity of cows, economic and biological features of cows.

Citation. Brekhova S. A., Slozhenkina M. I., Abramov S. V., Balyshhev A. V., Vorontsova E. S., Gorlov I. F. Efficiency of using new lecithin-containing feed additives in the diets of red steppe cows. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74). 266-273 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-31.

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

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

УДК 636.5.034:636.085.8

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ЛЕЦИТИНСОДЕРЖАЩИХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК В РАЦИОНАХ КОРОВ КРАСНОЙ СТЕПНОЙ ПОРОДЫ

Брехова С. А., младший научный сотрудник

Сложенкина М. И., член-корреспондент РАН, доктор биологических наук

Абрамов С. В., кандидат биологических наук

Балышев А. В., кандидат ветеринарных наук

Воронцова Е. С., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках государственного задания ГНУ НИИММП 2022-2024 гг.

Актуальность. Изучение влияния новых кормовых добавок «Лецитомакс» и «Лецитомикс» на продуктивность, качество молока и иммунный статус коров красной степной породы. **Материалы и методы.** Объектом исследований выступили коровы красной степной породы, в рацион кормления которых входили новые кормовые добавки на основе лецитина: «Лецитомакс» в I опытной группе и «Лецитомикс» во II опытной группе. В результате опыта в ООО «ПЗК им. Ленина» (Волгоградская область, х. Лобакин) из 30 голов КРС были сформированы 3 группы: первая группа (контрольная) получала основной рацион, вторая группа была откормлена с помощью новой кормовой добавки «Лецитомакс» в расчете 250 г/т корма, третья группа с помощью новой кормовой добавки «Лецитомикс» в расчете 250 г/т корма. Также были изучены хозяйственно-биологические коров красной степной породы и молочная продуктивность. Для ввода кормовых добавок в рацион использовали технологии ступенчатого смешивания. **Результаты.** Выявлено увеличение среднесуточных надоев на 4,0 и 9,7% у коров, получавших соответственно добавку «Лецитомакс» и «Лецитомикс». Включение в рацион коров красной степной породы кормовых добавок «Лецитомакс» и «Лецитомикс» позволило соответственно увеличить в молоке содержание жира на 0,01 и 0,03%, белка на 0,11 и 0,20% ($P \geq 0,999$ и $P \geq 0,999$), лактозы на 0,06 и 0,08% ($P < 0,05$ и $P \geq 0,95$), сухого обезжиренного молочного остатка на 0,08 и 0,12% ($P \geq 0,999$ и $P \geq 0,999$). В результате оценки защитных сил организма коров различных групп во время лактации установлен достаточно высокий уровень их естественной резистентности, при этом I и II опытные группы достоверно ($P \geq 0,95$ во всех случаях) превосходили

контрольную соответственно на 4,71 и 4,74% по бактерицидной активности сыворотки крови, на 4,49 и 4,69% – по лизоцимной активности сыворотки крови, на 1,71 и 1,93% – по фагоцитарной активности крови. **Заключение.** Установлено, что использование новой кормовой добавки, в основе состава которой находится лецитин, оказывает положительное влияние на качество молока и молочную продуктивность коров красной степной породы, а также на их иммунный статус.

Ключевые слова: красная степная порода коров, лецитомакс, лецитомикс, молочная продуктивность коров, хозяйственно-биологические особенности коров.

Цитирование. Брехова С. А., Сложенкина М. И., Абрамов С. В., Балышев А. В., Воронцова Е. С., Горлов И. Ф. Эффективность применения новых лецитинсодержащих кормовых добавок в рационах коров красной степной породы. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 266-273. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-31.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сбалансированность кормления является первым значительным фактором при эксплуатации лактирующих коров [1-7]. Совершенствование условий питания дойного стада за счёт разработки, апробации и внедрения новых кормовых добавок позволяет положительно воздействовать на здоровье используемых животных, их хозяйственно-биологические характеристики, количественные и качественные показатели продуктивной способности. В последние годы для обеспечения конкурентоспособности молочного скотоводства все более широкое распространение получают различные адресные премиксы [8] и кормовые добавки на основе природных компонентов: прополиса [9], шротов и фитобиотиков [10, 11], диатомита [12], пребиотиков [13], дрожжей и ферментов [14], минеральных веществ [15, 16].

Среди кормовых добавок натурального происхождения следует особо отметить лецитин в различных его вариациях. В 2021 году учёные из Китая, Канады и США Ван Ф., Рико Дж. Е., Фонтур А. П., Жерве Р., Макфадден Дж. У. установили, что при 14-дневном присутствии в рационе коров обезжиренного соевого лецитина в количестве 0,12, 0,24 или 0,36% от сухого вещества рациона улучшается доступность холина у коров, поддерживая при этом в плазме крови усиленный синтез эндогенных фосфолипидов: диметилглицина, фосфатидилхолина, лизофосфатидилхолина и сфингомиелина [17]. Коллаборацией учёных из США и Канады под руководством Фонтур А. П. при скормливание коровам голштинской породы 0,12, 0,24 и 0,36% от суточной нормы рациона обезжиренного соевого лецитина с умеренным и высоким содержанием пальмитиновой кислоты пришли к следующим выводам: активный в рубце лецитин может оказывать специфическое влияние на усвояемость жиров, что подчеркивает идею о том, что инертные в рубце лецитины могут быть необходимым условием для диетических стратегий, направленных на повышение усвояемости пищевых жиров; лецитин линейно увеличивает молочную продуктивность с поправкой на энергию у коров, получавших умеренное содержание пальмитиновой кислоты; скормливание обезжиренного соевого лецитина не влияет на перевариваемость или усвояемость жирных кислот, но при этом изменяет пищеварение в рубце, уменьшая потребление сухих веществ и изменяя состав молока [18].

В 2011 году Петрушина М. В. в ходе своей научно-практической деятельности выявила, что добавление лецитина в рацион кормления первотелок приводит к восстановлению прооксидантно-антиоксидантного равновесия, о чём свидетельствует снижение уровня малонового диальдегида на 13,2% и супероксиддисмугазы на 20,9% при повышении количества витамина Е на 21,3%. При этом отмечен рост содержания в крови кальция, фосфора и цинка соответственно на 9,3%, 20,7 % и 14,2%, установлено снижение в сыворотке крови холестерина на 14,9%, увеличение содержания общих фосфолипидов на 7,8% и повышение содержания витамина А в 3 раза [19].

Учёные Орловского государственного аграрного университета Ярован Н. И., Грибанова Н. Л., Маркина В. М. посвятили свой научный путь биологически активным добавкам для крупного рогатого скота на основе лецитина из подсолнечника, а также установили их способность обладать антистрессовой способностью и благотворно влиять на обменные процессы организма данного вида животных [20].

Сотрудниками ООО НПО «Уралбиовет» разработаны современные кормовые добавки «Лецитомакс» с средним содержанием лецитина 50% и «Лецитомикс» с средним содержанием лецитина 30%, которые получили свидетельства о государственной регистрации № ПВР-2-29.21/03662 от 29.07.2021 г и № ПВР-2-29.21/03663 от 29.07.2021 г соответственно, так как исследованиями была доказана безопасность их внедрения в рацион сельскохозяйственных животных.

Лецитин является эмульгатором, соединяющим в водной среде жиры, что положительно сказывается на их перевариваемости. Поскольку лецитин увеличивает активную для расщепления площадь поверхности частиц питательных веществ, возрастает эффективность действия пищеварительных энзимов, что обеспечивает повышение усвояемости питательных веществ [21].

Лецитин способствует нормализации обменных процессов в организме, обладает антиоксидантными свойствами, содействует в усвоении жирорастворимых витаминов. Кроме того, лецитин является важнейшим источником холина, который необходим для транспортировки жиров и является значительной составляющей биологических мембран [21].

От степени стрессоустойчивости и уровня резистентности, которыми обладает организм коров, зависит процесс формирования количественных и качественных показателей молочной продуктивности, то есть то, насколько организм животного способен нивелировать отрицательное воздействие внешней среды и при этом не запускать выработку гормонов стресса, определяет степень реализации генетически обусловленной молочности [22]. Таким образом, изучение влияния новых кормовых добавок «Лецитомакс» и «Лецитомикс» на продуктивность, качество молока и иммунный статус коров красной степной породы является целью данной работы.

Материалы и методы. Объектом исследований выступили коровы (порода: красная степная), в рацион кормления которых входили новые кормовые добавки «Лецитомакс» и «Лецитомикс» на основе лецитина. В результате опыта ООО «ПЗК им. Ленина» (Волгоградская область, х. Лобакин) из 30 голов КРС были сформированы 3 группы: контрольная группа получала основной рацион, в рационе I опытной группы была включена новая кормовая добавка «Лецитомакс» в расчете 250 г/т комбикорма, в кормлении коров II опытной группы использовалась другая новая кормовая добавка «Лецитомикс», также в массе 250 г на 1 тонну комбикорма. У подопытного поголовья были изучены молочная продуктивность и качественные показатели молока.

Для изучения естественной резистентности у каждой коровы на 3, 6 и 9 месяце лактации из яремной вены брали кровь для исследования бактерицидной и лизоцимной активности сыворотки крови (БАСК и ЛАСК), фагоцитарной активности крови (ФАК), которые были осуществлены по общепринятым методикам.

В результате проведенного опыта были получены результаты, которые позволили оценить хозяйственно-биологические особенности коров и их молочную продуктивность. Обработка данных результатов опыта осуществлялась с использованием компьютерных методов вариационной статистики и определением критерия достоверности в программе «Statistica 10.0».

Результаты и обсуждение. В результате опыта был оценён уровень удоя молока каждой из подопытных групп, результат нашёл свое отражение на рисунке 1.

Сравнив между собой показатели продуктивности всех трех групп коров, можно сделать вывод, что средний удой, приходящийся на одну корову I опытной группы, поднялся на 4,0%, а во II опытной группе – на 9,7% относительно данного показателя в контрольной группе. Коровы, получавшие кормовую добавку «Лецитомикс», показали на 5,5% большую молочную продуктивность по сравнению с аналогами, получавшими кормовую добавку «Лецитомакс».

Кормовые добавки «Лецитомакс» и «Лецитомикс» не только положительно повлияли на лактацию коров, но и позволили улучшить качественные характеристики молока-сырья (таблица 1).

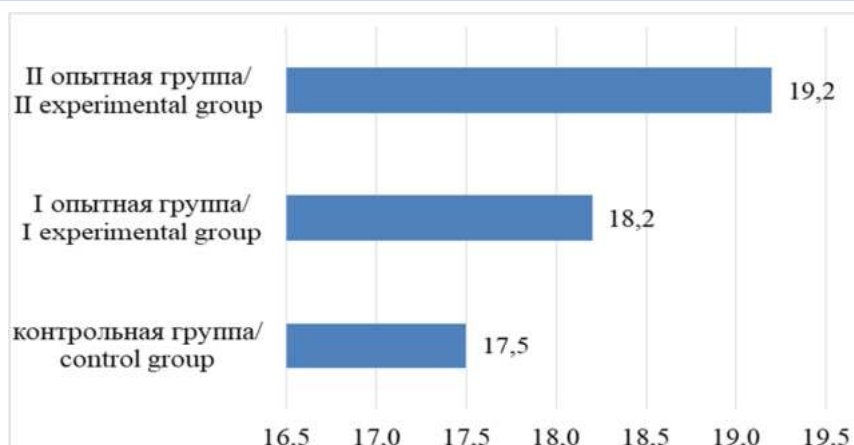


Рисунок 1 – Средние удои коров исследуемых групп, л/гол
Figure 1 – Average milk yield of cows of the studied groups, l/head

Таблица 1 – Качественные показатели выработанного молока, %
Table 1 – Qualitative indicators of produced milk, %

Показатель / Indicator	Контрольная группа / Control group	I опытная группа / I experimental group	II опытная группа / II experimental group
Жир / Fat	4,11 ± 0,02	4,12 ± 0,01	4,14 ± 0,03
Белок / Protein	3,21 ± 0,01	3,32 ± 0,01***	3,41 ± 0,01***
СОМО / Dry skimmed milk residue	8,20 ± 0,01	8,28 ± 0,01***	8,32 ± 0,01***
Лактоза / Lactose	4,53 ± 0,03	4,59 ± 0,02	4,61 ± 0,03*
Кислотность, °Т / Acidity, °Т	17,11 ± 0,01	17,10 ± 0,01	17,10 ± 0,01

Согласно полученным данным, выявлено, что включение в рацион коров красной степной породы кормовых добавок «Лецитомакс» и «Лецитомикс» позволило существенно увеличить в молоке содержание жира на 0,01 и 0,03%, белка – на 0,11 и 0,20% ($P \geq 0,999$ и $P \geq 0,999$), лактозы – на 0,06 и 0,08% ($P < 0,05$ и $P \geq 0,95$), сухого обезжиренного молочного остатка – на 0,08 и 0,12% ($P \geq 0,999$ и $P \geq 0,999$). Стоит отметить, что II группа коров, получавших добавку «Лецитомикс», имела преимущества по данным качественным показателям молока у I группы коров, употреблявших добавку «Лецитомакс» сверх основного рациона. Таким образом, в молоке, полученном от коров II опытной группы, больше белка на 0,09% ($P \geq 0,999$), жира – на 0,02%, лактозы – 0,02%, сухого обезжиренного молочного остатка – на 0,04% ($P \geq 0,95$). Кислотность во всех группах находилась почти на одном уровне, но в опытных группах всё же была снижена на 0,01°Т, что однозначно свидетельствует о свежести и натуральности полученного молока и косвенно о сбалансированности рационов подопытных коров.

Результаты определения показателей, формирующих представление о состоянии иммунного статуса подопытных коров, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Иммунный статус подопытных коров (среднее за лактацию), %
Table 2 – Immune status of experimental cows (average for lactation), %

Показатель / Indicator	Контрольная группа / Control group	I опытная группа / I experimental group	II опытная группа / II experimental group
БАК / Bactericidal activity of blood serum	51,97 ± 1,98	56,68 ± 1,10*	56,71 ± 1,78*
ЛАК / Lysozyme activity of blood serum	28,73 ± 1,66	33,22 ± 1,29*	33,42 ± 1,43*
ФАК / Phagocytic activity of blood	22,70 ± 0,64	24,41 ± 0,50*	24,63 ± 0,58*

В результате оценки защитных сил организма коров различных групп во время лактации установлен достаточно высокий уровень их естественной резистентности, при этом I и II опытные группы достоверно ($P \geq 0,95$ во всех случаях) превосходили контрольную – соответственно на 4,71 и 4,74% по БАСК, на 4,49 и 4,69% по ЛАСК, на 1,71 и 1,93% по ФАК. При этом особи II опытной группы отличались большим уровнем естественной резистентности по сравнению с животными I опытной группы, так как разница по БАСК, ЛАСК и ФАК соответственно составила 0,03; 0,20 и 0,22%.

Полученные данные указывают на положительное влияние новых лецитинсодержащих кормовых добавок «Лецитомакс» и «Лецитомикс» на молочную продуктивность коров красной степной породы и формирование их естественной резистентности. При употреблении кормовой добавки негативное действие на общее состояние и развитие подопытных коров не отмечено.

Заключение. Таким образом, применение при использовании коров красной степной породы новых лецитинсодержащих кормовых добавок «Лецитомакс» и «Лецитомикс» в дозах по 250 г/т сверх основного рациона имеет благоприятное воздействие на молочную продуктивность и естественную резистентность организма коров.

Conclusions. Thus, the use of new lecithin-containing feed additives "Lecitomax" and "Lecitomix" in doses of 250 g/t in excess of the basic diet when using cows of the red steppe breed has a beneficial effect on milk productivity and natural resistance of the cows' body.

Библиографический список

1. Солошенко В. М., Векленко В. И., Пигоров И. Я. Основные направления повышения эффективности организации кормовой базы молочного скотоводства. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 6. С. 7-13.
2. Аттокуров К., Абдурасулов А., Арапбай у. Н. Особенности кормления крупного рогатого скота. Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2024. №1. С. 184-189.
3. Гречишников В., Панин А., Михальчук Е. Оптимизация усвоения НДК. Максимальное раскрытие потенциала корма. Эффективное животноводство. 2024. № 1 (191). С. 60-62.
4. Воронова И. В., Игнатьева Н. Л., Немцева Е. Ю. Современные аспекты кормления молочных коров. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 164-169.
5. Рябых М. А. Качество молока определяется компонентами рациона дойных коров. Научный журнал молодых ученых. 2023. № 3 (33). С. 13-16.
6. Кольга Д. Ф., Молош Т. В., Костюкевич С. А., Босак В. Н. Влияние кормления коров на производство молока. Животноводство и ветеринарная медицина. 2023. № 3. С. 13-18.
7. Еременко О. Н., Комлацкий В. И., Давиденко Ю. Г. Особенности кормления высокопродуктивных коров. Известия ОГАУ. 2022. № 4 (96). С. 281-285.
8. Гнеушева А. А., Химичева С. Н. Эффективность использования премиксов в рационах молочного скота. Биология в сельском хозяйстве. 2022. № 2 (35). С. 21-23.
9. Ярован Н. И., Ивлева Н. А., Мацерушка А. Р. Влияние средств на основе прополиса на молочную продуктивность, качество молока и стресс-индуцированные нарушения адаптивных процессов у коров голштинской породы. Вестник ОрелГАУ. 2022. № 2 (95). С. 71-78.
10. Балакина Н. В., Баранова Н. С. Совершенствование приёмов использования шротов в рационах высокопродуктивных коров. Universum: химия и биология. 2022. № 9-1 (99). С. 15-18.
11. Ярован Н. И., Рыжкова Г. Ф., Рыжкова Е. Н., Болкунов П. С. Динамика молочной продуктивности и активность метаболитических ферментов у коров при использовании в рационе кормления фитобиотиков. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 74-81.
12. Феоктистова Н. А., Дежаткина С. В., Шаронина Н. В., Пульчеровская Л. П., Мерчина С. В., Дежаткин М. Е. Ветеринарно-санитарная оценка молока при использовании добавки структурированного природного диатомита. Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. 2022. № 2. С. 247-253.
13. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Хорошевская Л. В., Мосолова Н. И., Воронцова Е. С., Ткаченко Н. А., Пузанкова В. А., Мороз Н. Н. Эффективность использования новой кормовой добавки в поздний сухостойный период коров. Известия НВ АУК. 2023. № 1 (69). С. 322-332.
14. Шепелев С. И., Яковлева С. Е., Лемеш Е. А., Стрельцов В. А. Применение кормовой добавки «Мегабуст румен» в рационах кормления высокопродуктивных коров. Известия ОГАУ. 2023. № 2 (100). С. 270-276.
15. Гамко Л. Н., Менякина А. Г., Мицурина Е. А. Переваримость питательных веществ и использование азота у лактирующих коров при скармливании кормосмеси с минеральными добавками. Вестник Ульяновской ГСХА. 2022. № 1 (57). С. 194-199.
16. Смоленцев С. Ю., Гугкаева М. С., Корнаева А. К., Цугкиева З. Р. Ветеринарно-санитарная оценка качества и безопасности молока коров при использовании кормовой добавки «Фелуцен». Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2022. № 1 (29). С. 72-81.
17. Wang F., Rico J. E., Fontoura A. B. P., Gervais R., McFadden J. W. Short communication: Effects of dietary deoiled soy lecithin supplementation on circulating choline and choline metabolites, and the plasma phospholipid profile in Holstein cows fed palm fat. J Dairy Sci. 2021. V. 104 (2). Pp. 1838-1845.

18. Fontoura A. B. P., Rico J. E., Davis A. N., Myers W. A., Tate B. N., Gervais R., McFadden J. W. Effects of dietary deoiled soy lecithin supplementation on milk production and fatty acid digestibility in Holstein dairy cows. *J Dairy Sci.* 2021. V. 104 (2). Pp. 1823-1837.

19. Петрушина М. В. Влияние Хотынецких цеолитов и лецитина на физиолого-биохимический статус высокоудойных коров при промышленном содержании. *Вестник Орловского государственного аграрного университета.* 2010. № 5(26). С. 95-96.

20. Ярован Н. И., Грибанова Н. Л., Маркина В. М. Фитоадаптогены – экологически чистый фактор оптимизации свободно-радикальных процессов, повышения молочной продуктивности и качества молока. *Биология в сельском хозяйстве.* 2024. № 1 (42). С. 34-37.

21. Лецимакс – высокая продуктивность без метаболических провалов. *Наше сельское хозяйство.* 2020. № 18(242). С. 34-35.

22. Наумов М. К. Стрессоустойчивость и резистентность красных степных и помесных первотёлок. *Животноводство и кормопроизводство.* 2015. № 2 (90). С. 61-65.

References

1. Soloshenko V. M., Veklenko V. I., Pigorev I. Y. The main directions of improving the efficiency of the organization of the feed base for dairy cattle. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy.* 2016. No. 6. Pp. 7-13.

2. Attokurov K., Abdurasulov A., Arapbay U. N. Features of feeding cattle. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics.* 2024. No. 1. Pp. 184-189.

3. Grechishnikov V., Panin A., Mikhalechuk E. Optimization of the absorption of neutral-degenerative fiber. Maximizing the potential of feed. *Effective animal husbandry.* 2024. No. 1 (191). Pp. 60-62.

4. Voronova I. V., Ignatieva N. L., Nemtseva E. Yu. Modern aspects of feeding dairy cows. *Proceedings of Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2021. No. 1 (53). Pp. 164-169.

5. Ryabykh M. A. The quality of milk is determined by the components of the diet of dairy cows. *Scientific journal of young scientists.* 2023. No. 3 (33). Pp. 13-16.

6. Kolga D. F., Molosh T. V., Kostiukevich S. A., Bosak V. N. The influence of cow feeding on milk production. *Animal agriculture and veterinary medicine.* 2023. No. 3. Pp. 13-18.

7. Eremenko O. N., Komlatsky V. I., Davidenko Yu. G. Features of feeding highly productive cows. *Bulletin of Orenburg State Agrarian University.* 2022. No. 4 (96). Pp. 281-285.

8. Gneusheva A. A., Khimicheva S. N. Efficiency of the use of premixes in dairy cattle diets. *Biology in Agriculture.* 2022. No. 2 (35). Pp. 21-23.

9. Yarov N. I., Ivleva N. A., Macerushka A. R. The effect of propolis-based products on milk productivity, milk quality and stress-induced disorders of adaptive processes in holstein cows. *Bulletin of Agrarian Science.* 2022. No. 2 (95). Pp. 71-78.

10. Balakina N. V., Baranova N. S. Improvement of methods of using meal in diets of high-yielding cows. *Universum: chemistry and biology.* 2022. No. 9-1 (99). Pp. 15-18.

11. Yarov N. I., Ryzhkova G. F., Ryzhkova E. N., Bolkunov P. S. Dynamics of milk productivity and activity of metabolic enzymes in cows when using phytobiotics in the diet. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy.* 2021. No. 3. Pp. 74-81.

12. Feoktistova N. A., Dezhatkina S. V., Sharonina N. V., Pulcherovskaya L. P., Merchina S. V., Dezhatkin M. E. Veterinary and sanitary evaluation of milk when using an additive of structured natural diatomite. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine.* 2022. No. 2. Pp. 247-253.

13. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Vorontsova E. S., Tkachenkova N. A., Puzankova V. A., Moroz N. N. Effectiveness of a new feed additive in late drying period of cows. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. No. 1 (69). Pp. 322-332.

14. Shepelev S. I., Yakovleva S. E., Lemesh E. A., Streltsov V. A. The use of the feed additive "Megabust Rumen" in the feeding rations of highly productive cows. *Proc. of the Orenburg State Agrarian University.* 2023. No. 2 (100). Pp. 270-276.

15. Gamko L. N., Menyakina A. G., Mitsurina E. A. Nutrient digestibility and nitrogen utilization of lactating cows when receiving a food mixture with mineral supplements. *Proc. of the Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2022. No. 1 (57). Pp. 194-199.

16. Smolentsev S. Yu., Gugkaeva M. S., Kornaeva A. K., Tsugkueva Z. R. Veterinary and sanitary assessment of the quality and safety of cow's milk when using the feed additive "Felucen". *Proc. of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics.* 2022. No. 1 (29). Pp. 72-81.

17. Wang F., Rico J. E., Fontoura A. B. P., Gervais R., McFadden J. W. Short communication: Effects of dietary deoiled soy lecithin supplementation on circulating choline and choline metabolites, and the plasma phospholipid profile in Holstein cows fed palm fat. *Dairy Sci.* 2021. V. 104 (2). Pp. 1838-1845.

18. Fontoura A. B. P., Rico J. E., Davis A. N., Myers W. A., Tate B. N., Gervais R., McFadden J.W. Effects of dietary deoiled soy lecithin supplementation on milk production and fatty acid digestibility in Holstein dairy cows. *Dairy Sci.* 2021. V. 104 (2). Pp. 1823-1837.

19. Petrushina M. V. The influence of Khotynets zeolites and lecithin on the physiological and biochemical status of high-yielding cows under industrial management. *Bulletin of agrarian science.* 2010. Vol. 26. No. 5 (26). Pp. 95-96.

20. Yarov N. I., Griбанова N. L., Markina V. M. Phytoadaptogens – ecologically pure factor for optimizing free radical processes, increasing milk productivity and milk quality. *Biology in Agriculture.* 2024. No. 1 (42). Pp. 34-37.

21. Lecimax - high productivity without metabolic failures. *Our agriculture.* 2020. No. 18 (242). Pp. 34-35.

22. Naumov M. K. Stress tolerance and resistance of red steppe and crossbred heifers. *Animal husbandry and feed production.* 2015. No. 2 (90). Pp. 61-65.

Информация об авторах

Брехова Светлана Андреевна, младший научный сотрудник ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: sveta511518@mail.ru

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, д. 6), профессор кафедры «Технологии пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, д. 28), ORCID:0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Балышев Андрей Владимирович, кандидат биологических наук, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Абрамов Сергей Владиславович, кандидат ветеринарных наук, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: esvoronts@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), заведующий кафедрой «Технология пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, д. 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Author's Information

Brekova Svetlana Andreevna, Junior Researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: sveta511518@mail.ru

Slozenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director of the Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), Professor of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID:0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Balyshev Andrey Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences, Complex Analytical Laboratory, Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Abramov Sergey Vladislavovich, Candidate of Veterinary Sciences, Complex Analytical Laboratory, Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), Head of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-32

DEVELOPMENT OF A MULTILOCUS STR PANEL AND ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE ORIGIN OF THE AQUACULTURE STERLET (*ACIPENSER RUTHENUS*)

¹Nikipelov V. I., ¹Kharzinova V. R., ¹Volkova V. V., ¹Nikipelova A. K., ¹Bardukov N. V.,
²Grozescu Yu. N., ¹Zinovieva N. A.

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst
Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

²Astrakhan State Technical University
Astrakhan, Russian Federation

Received 11.04.2024

Submitted 25.05.2024

Corresponding author E-mail: vladnikipelovvij@mail.ru

*The work was carried out with financial support from the Russian Science Foundation,
project No. 21-66-00007*

Acknowledgments: We express our gratitude to RTF Diana LLC, the Sturgeon Breeders Union and personally to A. V. Mikhailov for providing samples of biomaterial for research. For assistance in carrying out the experiment, we thank the chief fish farmer of the Federal State Budgetary Institution "Glavrybvod" Glebov A. P.

When carrying out the research, the equipment of the Center for Collective Use of Scientific Equipment "Bioresources and Bioengineering of Farm Animals" of the Federal State Budgetary Institution Federal Research Center VIZh named after. L. K. Ernst.

Summary

This article presents the results of studies of genetic analysis of aquaculture sterlet carried out using a multiplex panel consisting of 12 microsatellite loci. This study is aimed at establishing the authenticity of the origin of sterlet individuals, as well as improving the genetic quality of the offspring in sturgeon fish farms.

Abstract

Introduction. In modern practice of artificial breeding of sturgeon fish, obtaining viable offspring is of particular importance. In this context, the use of microsatellite markers to assess the relatedness and genetic diversity of sterlet in commercial aquaculture becomes relevant. This will make it possible to more accurately determine the origin of individuals and significantly increase the efficiency of breeding work at fisheries enterprises. **Object.** The object of the study is samples of fin sections of aquaculture sterlet of various origins. **Materials and methods.** The development of a microsatellite panel including 12 loci (AfuG 63, AfuG 112, Afu 68 b, LS-39, Spl-163, An20, AfuG 51, Aru13, AoxD161, AfuG 41, Aru18, LS-68) was carried out on the basis of the Federal State Budgetary Institution Federal Research Center VIZH them. OK. Ernst. Testing of the developed test system, as well as its information content, was carried out on a sample of hatchery sterlet (n=149) from three populations: Sukhonovskaya, among which there were two parental pairs with 30 known offspring (SX, n=65), Okaskaya (OK, n=50) and Lower Volga (NV, n=34). **Results and conclusions.** Based on the results of using microsatellite markers, the reliability of the origin of three sterlet populations was assessed. Based on the polymorphism of 12 microsatellite loci for the three studied groups of sterlet, classical population genetic indicators were calculated: the average number of alleles per locus ($NA = 7.528 \pm 0.717$), the number of effective alleles ($NE = 4.098 \pm 0.437$), observed ($HO = 0.571 \pm 0.049$) and expected ($HE = 0.611 \pm 0.049$) heterozygosity, as well as the inbreeding coefficient ($FIS = 0.046 \pm 0.028$). The probability of matching genotypes (PI) for the developed STR panel ranged from $3.7 \cdot 10^{-13}$ for OK to $8.1 \cdot 10^{-10}$ for SX, i.e. was practically excluded. The exclusion probability values (P1, P2, P3), calculated based on the results of the developed test system, were minimum for SX and maximum for OK and ranged from 99.88 to 99.99% for P1. The P2 parameter was 98.62% for the NV and 99.87% for the OK population. For P3 it was 99.99% for all studied groups. These data confirm the high information content of DNA analysis of 149 individuals to establish the authenticity of the origin of hatchery sterlet and the functionality of the developed STR panel. As a result of the research, a multiplex test system was created that allows analysis of twelve STR loci, and its high functional efficiency was demonstrated.

Keywords: aquaculture, microsatellites, sterlet, sterlet populations, credibility of the origin of the sterlet.

Citation. Nikipelov V. I., Kharzinova V. R., Volkova V. V., Nikipelova A. K., Bardukov N. V., Grozescu Yu. N., Zinovieva N. A. Development of a multilocus STR panel and assessment of the reliability of the origin of the aquaculture sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 273-283 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-32.

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 639.3:636.082

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИЛОКУСНОЙ STR-ПАНЕЛИ И ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ АКВАКУЛЬТУРНОЙ СТЕРЛЯДИ (*ACIPENSER RUTHENUS*)

¹Никипелов В. И., младший научный сотрудник

¹Харзинова В. Р., кандидат биологических наук

¹Волкова В. В., кандидат биологических наук,

¹Никипелова А. К., аспирант

¹Бардуков Н. В., научный сотрудник

²Грозеску Ю. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Зиновьева Н. А., доктор биологических наук, профессор, академик РАН

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр ВИЖ имени Л. К. Эрнста

п. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Астраханский государственный технический университет

г. Астрахань, Российская Федерация

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда,
проект № 21-66-00007

Благодарности: выражаем благодарность ООО РТФ «Диана», Союзу осетроводов и лично Михайлову А.В. за предоставление образцов биоматериала для исследований. За помощь в выполнении эксперимента благодарим главного рыбоведа ФГБУ «Главрыбвод» Глебова А. П.

При выполнении исследований было использовано оборудование Центра коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Актуальность. В современной практике искусственного разведения осетровых рыб особое значение приобретает получение жизнестойкого потомства. В этом контексте актуальным становится применение микросателлитных маркеров для оценки родства и генетического разнообразия стерляди в коммерческой аквакультуре. Это позволит более точно установить происхождение особей и значительно повысить эффективность селекционной работы на рыбохозяйственных предприятиях. **Объект.** Объектом исследования являются образцы плавниковых срезов аквакультурной стерляди различного происхождения. **Материалы и методы.** Разработка микросателлитной панели включающей в себя 12 локусов (AfuG 63, AfuG 112, Afu 68 b, LS-39, Spl-163, An20, AfuG 51, Aru13, AoxD161, AfuG 41, Aru18, LS-68) проводилась на базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Апробацию разработанной тест-системы, а также ее информативность выполняли на выборке заводской стерляди ($n=149$) трех популяций: сухонская, среди которой имелись две родительские пары с 30 известными потомками (SX, $n=65$), окская (OK, $n=50$) и нижеволжская (NV, $n=34$). **Результаты и выводы.** По результатам использования микросателлитных маркеров была дана оценка достоверности происхождения трех популяций стерляди. На основании полиморфизма 12-ти микросателлитных локусов для трех исследуемых групп стерляди произведен расчет классических популяционно-генетических показателей: среднее число аллелей на локус ($N_A = 7,528 \pm 0,717$), количество эффективных аллелей ($N_E = 4,098 \pm 0,437$), наблюдаемой ($H_O = 0,571 \pm 0,049$) и ожидаемой ($H_E = 0,611 \pm 0,049$) гетерозиготности, а также коэффициента инбридинга ($F_{IS} = 0,046 \pm 0,028$). Вероятность совпадения генотипов (P_1) для разработанной STR-панели колебалась от $3,7 \cdot 10^{-13}$ у OK до $8,1 \cdot 10^{-10}$ у SX, т.е. была практически исключена. Значения вероятности исключения (P_1, P_2, P_3), рассчитанные по результатам разработанной тест-системы, были минимальными у SX и максимальными у OK и колебались от 99,88 до 99,99% для P_1 . Параметр P_2 составлял 98,62% у NV и 99,87% для OK популяции. Для P_3 составило 99,99% для всех исследуемых групп. Эти данные подтверждают высокую информативность анализа ДНК 149 особей для установления достоверности происхождения заводской стерляди и функциональные возможности разработанной STR-панели. В результате проведенных исследований была создана мультиплексная тест-система, которая позволяет проводить анализ двенадцати STR-локусов, продемонстрирована ее высокая функциональная эффективность.

Ключевые слова: аквакультура, микросателлиты, стерлядь, популяции стерляди, достоверность происхождения стерляди.

Цитирование. Никипелов В. И., Харзинова В. Р., Волкова В. В., Никипелова А. К., Бардуков Н. В., Грозеску Ю. Н., Зиновьева Н. А. Разработка мультилокусной STR-панели и оценка достоверности происхождения аквакультурной стерляди (*Acipenser ruthenus*). *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 273-283. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-32.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Стерлядь (*Acipenser ruthenus*, Linnaeus, 1758) – распространенный представитель осетровых видов рыб, хорошо известный относительно небольшим размером тела и широким ареалом по сравнению с другими представителями рода. В связи с сокращением естественных популяций, в 2019 году стерлядь была внесена в Красный список исчезающих видов МСОП в соответствии с критериями A2cde [1, 2].

Основными причинами сложившейся ситуации является загрязнение и разрушение естественной среды обитания, строительство гидроэлектростанций, бесконтрольный вылов (браконьерство) [3].

Аквакультура способствует восстановлению диких популяций и удовлетворению растущей потребности общества в высококачественной рыбной продукции. Тем не менее рыбоводные предприятия, занимающиеся разведением осетровых для коммерческих целей, сталкиваются с серьезными проблемами, такими как дефицит качественных производителей и получение не жизнеспособного потомства. Одной из причин сложившихся проблем является скрещивание близкородственных особей. В этой связи для решения обозначенных задач необходимо применение наиболее эффективных и доступных молекулярно-генетических методов, одним из которых является анализ микросателлитов (Simple Tandem Repeats, STR). Благодаря высокой степени полиморфизма, менделевскому типу

наследования и равномерному распределению по всему геному, микросателлитные маркеры на протяжении многих лет считаются наиболее широко используемым типом ДНК-маркеров для контроля достоверности происхождения сельскохозяйственных животных [4, 5, 6, 7, 8].

Для использования в осетроводстве был разработан коммерческий набор реагентов «генэксперт-осётр», включающий в себя 7 STR-локусов, предназначенный для генетической паспортизации и определения родства. Также, известны исследования по разработке тест-системы на основе анализа 5-ти STR-локусов, которая позволяет использовать их для видовой идентификации осетровых (и пищевой продукции из них), а также показана возможность определения особей гибридного происхождения. Помимо этого, с помощью разработанной тест системы была проведена работа по генетическому мониторингу молоди естественного воспроизводства (личинки и сеголетки) стерляди, выловленной в среднем и нижнем нерестовых участках реки Волги за период 2021-2022 годов. Однако в условиях осетровых хозяйств, где маточные стада формировались из ограниченного числа особей, оценка степени родства между потомками с помощью вышеперечисленных тест-систем может быть недостаточной. [9, 10, 11].

Исходя из вышеизложенного целью нашей работы является разработка панели микросателлитных маркеров включающую в себя 12 STR-локусов и оценка ее информативности для определения достоверности происхождения заводских стад стерляди.

Материалы и методы. На первоначальном этапе на основе проведенного анализа литературных данных в разрабатываемую панель STR-локусов анализа достоверности происхождения стерляди нами было отобрано 12 перспективных локусов (AfuG 63, AfuG 112, Afu 68 b, LS-39, Spl-163, An20, AfuG 51, Aru13, AoxD161, AfuG 41, Aru18, LS-68), характеризующиеся высокой степенью информативности и приводимые в наибольшем числе публикаций. При определении спектра локусов учитывали их полиморфный характер, а также возможность проведения мультиплексной реакции (близкие температуры плавления праймеров). Выбор флуоресцентной метки микросателлитных локусов проводился с учетом отсутствия пересечений их диапазонов друг с другом [10, 12, 13, 14, 15].

Апробацию разработанной тест-системы, а также ее информативность выполняли на выборке заводской стерляди ($n = 149$) трех популяций: сухонская, среди которой имелись две родительские пары с 30 известными потомками (SX, $n = 65$), окская (OK, $n = 50$) и нижеволжская (NV, $n = 34$).

Выделение геномной ДНК из отобранной плавниковой ткани осуществляли с помощью коммерческого набора ДНК-Экстран-2 (НПК «Синтол» Россия), согласно протоколу фирмы-изготовителя. Качественную оценку ДНК во всех образцах проводили методом электрофореза в агарозном геле, а ее концентрацию измеряли с помощью флуориметра Qubit 4.

Отобранные маркеры были сформированы в три мультиплексные панели. Это позволило выполнить в одной реакции одновременную амплификацию нескольких микросателлитов.

Состав ПЦР-смеси был следующим: 1 мкл (50-100 нг) исследуемой геномной ДНК и 9 мкл реакционной смеси, состоящей из 1,0 мкл 10х ПЦР-буфера (166 mM (NH₄) SO₄, 670 mM Tris-HCL, 15 mM MgCl₂, 0,1% Tween 20, pH = 8.8), 1,0 мкл 2 mM раствора dNTPs, 0,5 мкл 100 mM MgCl₂, 0,1 мкл (1 ед.) Taq-полимеразы (ООО «Диалат Лтд.», Россия). Концентрация праймеров реакционной смеси для мультиплексной ПЦР подбиралась в зависимости от уровня флуоресценции ампликонов (высоты пиков на графике фрагментного анализа).

Оптимизация ПЦР протокола произведена с использованием функции градиент. Температурно-временные режимы ПЦР включали в себя следующие этапы: 10 мин при 95C⁰ (первичная денатурация); 30 с при 95C⁰ (денатурация), 40 с при 60C⁰ (отжиг праймеров на ДНК-матрице), 30 с при 72C⁰ (элонгацию цепей) (35 циклов); 10 мин при 72C⁰ (финальная элонгация). Полученный ПЦР – продукт оценивали с помощью 16-канального капиллярного генетического анализатора ABI3130xl (Applied Biosystems, США). Исходные данные о длине аллелей получены в программном обеспечении Gene Mapper v. 4 (Applied Biosystems, США).

Для оценки потребительских свойств, разработанной тест-системы, использовали следующие критерии:

1) Возможность применения разработанной тест-системы для генетической паспортизации стерляди. Проводился расчет вероятности совпадения генотипов индивидуумов (P_i) по методике Peakall R. с соавторами [16].

2) Для возможности определения происхождения с использованием разработанной тест-системы оценивали точность подтверждения происхождения по трем частным случаям: исключение одного родителя, если известны генотипы обоих родителей и потомка (P_1); исключение родителя, если известны генотипы одного родителя и потомка (P_2); исключение обоих родителей, если известны генотипы родителей и потомка (P_3) [17, 18].

Для оценки эффективности используемых локусов в каждой популяции определяли среднее (N_A) и эффективное число (N_E) аллелей на локус, информационный индекс Шеннона (I), наблюдаемую (H_O) и ожидаемую (H_E) гетерозиготность и коэффициент инбридинга (F_{IS}) [19, 20].

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета MS Excel 2007 с плагином GenAlEx v. 6.5.1 [21].

Результаты и обсуждение. Выбор микросателлитных маркеров для включения в мультиплексную панель осуществляли с учетом их полиморфизма и возможности амплификации в одной реакции за счет близких температур плавления праймеров. Также была учтена возможность проведения анализа на ДНК-анализаторе с использованием специфических флуоресцентных меток, предотвращая перекрытие спектров для каждого из красителей (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика выбранных микросателлитных маркеров
Table 1 – Characteristics of the selected microsatellite markers

Наименование локуса / Locus name	Диапазон длин по литературным данным / Range of lengths according to the literature data	Температурный режим по литературным данным / Temperature regime according to literature data	Диапазон длин по собственным данным / Length range based on native data	Флуоресцентная метка по собственным данным / Fluorescent label based on own data	Температурный режим по собственным данным / Temperature regime according to own data
AfuG 63	127-147 [14]	52 [14]	132-142	6-FAM	60
AfuG 112	240-268 [14]	52 [14]	194-288	6-FAM	60
Afu 68 b	153-197 [14]	52 [14]	130-226	R6G	60
LS-39	117-132 [22]	57 [22]	121-135	6-FAM	60
Spl-163	172-220 [22]	57 [22]	171-221	6-FAM	60
An20	152-178 [22] 129-193 [10]	57 [10; 22]	151-207	R6G	60
AfuG 51	223-247 [22] 204-312 [10]	57 [10; 22]	226-262	R6G	60
Aru13	87-135 [22]	60 [15]	91-137	6-FAM	60
AoxD161	106-130 [22] 86-154 [10]	60 [10; 15]	101-137	6-FAM	60
AfuG 41	193-261 [15] 173-225 [10]	60 [10; 15]	201-265	6-FAM	60
Aru18	135-145 [15]	60 [15]	138-154	R6G	60
LS-68	174-238 [15]	60 [15]	163-247	R6G	60

Данные таблицы 1 показали, что в ходе выполнения собственных исследований, для всего выбранного спектра микросателлитных локусов, была подобрана одинаковая температура отжига праймеров, что позволяет оптимизировать рабочий процесс, являющийся ключевым фактором для повышения производительности и эффективности работы.

В результате нашего исследования была разработана STR-панель, позволяющая анализировать 12 локусов (рисунок 1)

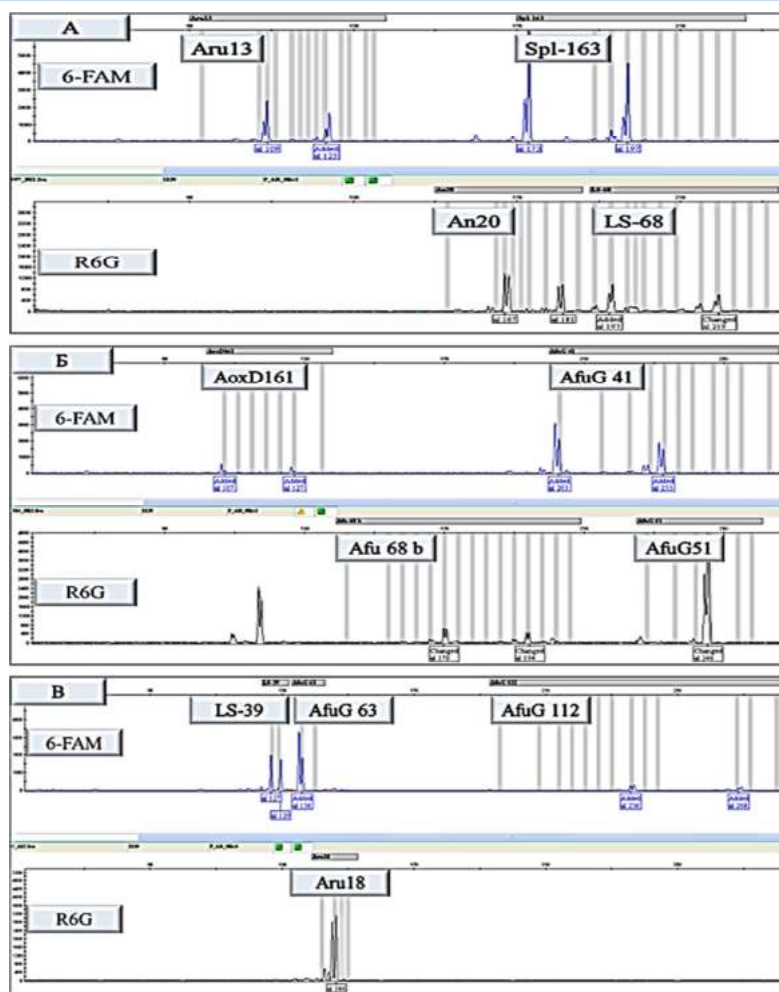


Рисунок 1 – Визуальный фрагмент мультиплексирования локусов для особей аквакультурной стерляди: А – панель № 1 (локусы Aru13, Spl-163, An20, LS-68), Б – панель № 2 (локусы AoxD161, AfuG 41, Afu 68 b, AfuG 51), В – панель № 3 (локусы LS-39, AfuG 63, AfuG 112, Aru18)
Figure 1 – Visual fragment of multiplexing loci for individuals of aquaculture sterlet: А – panel No. 1 (loci Aru13, Spl-163, An20, LS-68), Б – panel No. 2 (loci AoxD161, AfuG 41, Afu 68 b, AfuG 51), С – panel No. 3 (loci LS-39, AfuG 63, AfuG 112, Aru18)

Примечание: фрагменты, меченные специфическими флуоресцентными красителями 6-FAM, R6G показаны на рисунке (А, Б, В), в первом и втором рядах.

Note: fragments labeled with specific fluorescent dyes 6-FAM, R6G are shown in the figure (A, B, C), in the first and second rows.

Из 12 микросателлитных локусов были сформированы три мультиплексные панели (панель 1: Aru13, Spl-163, An20, LS-68; панель 2: AoxD161, AfuG 41, Afu 68 b, AfuG 51; панель 3: LS-39, AfuG 63, AfuG 112, Aru18), позволяющие анализировать 12 локусов (рисунок 1).

В таблице 2 представлены результаты анализа основных генетических параметров и дана характеристика по каждому локусу.

В результате анализа 12 микросателлитов в 3 группах заводской стерляди было выявлено 135 аллелей, что превосходило число аллелей (40 аллелей), детектированных при молекулярно-генетическом анализе стерляди с использованием десяти микросателлитных маркеров. В целом по исследуемой выборке наименее полиморфными оказались локусы AfuG_63, LS_39 и Aru18, в которых было выявлено от 2 до 4 аллелей. Аналогичная тенденция наблюдалась при исследованиях стерляди, разводимой на территории Германии (4 аллеля для локуса Aru18 и LS_39). Наибольший полиморфизм по результатам исследований *Kohlmann* и соавторов (2017) показал локус LS_68 (15 аллелей), однако в нашей работе было идентифицировано 21 аллель [22, 23].

Таблица 2 – Характеристика информативности микросателлитных локусов
для всей исследуемой выборки

Table 2 – Characteristics of the information content of microsatellite loci for the entire study sample

Locus	N_A	N_E	I	H_O	H_E	F_{IS}
Aru13	12	4,618	1,783	0,893	0,783	-0,139
Spl_163	12	7,240	2,139	0,852	0,862	0,011
An20	12	2,690	1,417	0,541	0,628	0,140
LS_68	21	7,942	2,387	0,554	0,874	0,366
AoxD161	9	3,479	1,618	0,631	0,713	0,115
AfuG_41	16	8,264	2,308	0,913	0,879	-0,038
Afu68b	18	7,852	2,366	0,676	0,873	0,226
AfuG_51	8	1,364	0,636	0,215	0,267	0,195
LS_39	4	2,152	0,903	0,456	0,535	0,149
AfuG_63	2	1,042	0,100	0,041	0,040	-0,021
AfuG_112	17	8,854	2,377	0,884	0,887	0,003
Aru18	4	1,477	0,590	0,322	0,323	0,002

Примечание: N_A – среднее число аллелей на локус. N_E – число эффективных аллелей на локус; I – информационный индекс Шеннона. H_O – наблюдаемая гетерозиготность. H_E – ожидаемая гетерозиготность. F_{IS} коэффициент инбридинга.

Note: N_A is the average number of alleles per locus. N_E is the number of effective alleles per locus; I is the Shannon Information Index. H_O is the observed heterozygosity. H_E is expected heterozygosity. F_{IS} inbreeding ratio.

Значения информационного индекса Шеннона (I) показали, что средние параметры генетического разнообразия у семи локусов (Aru13, Spl_163, LS_68, AoxD161, AfuG_41, Afu68b, AfuG_112) составляли от 1,618 до 2,387. Остальные локусы обладали относительно низким разнообразием, при этом наименьший результат был зафиксирован в локусе AfuG_63 (0,100). Наибольшим уровнем наблюдаемой гетерозиготности (H_O) характеризовались локусы Aru13 (0,893), Spl_163 (0,852), AfuG_41 (0,913) и AfuG_112 (0,884), а наибольшим уровнем ожидаемой гетерозиготности (H_E) – локусы Spl_163 (0,862), LS_68 (0,874), AfuG_41 (0,879), Afu68b (0,873) и AfuG_112 (0,887), в то время как наименьшим уровнем наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности отличался локус AfuG_63 (0,041 и 0,040 соответственно). Исходя из коэффициента инбридинга (F_{IS}), только в трех локусах (Aru13, AfuG_41, AfuG_63) наблюдаемая гетерозиготность превышала ожидаемую. В остальных локусах наблюдалось смещение равновесия в сторону недостатка гетерозигот, однако наивысшим коэффициентом инбридинга обладал локус LS_68 (0,366). Выявленные особенности указывают на возможность более эффективного использования отдельных локусов для различных целей генетических исследований.

Для оценки информативности разработанной тест-системы, были оценены такие параметры, как вероятность совпадения генотипов (P_1) и значения вероятности исключения родителей (P_1 , P_2 , P_3). В таблице 3 представлены результаты, полученные при анализе трех групп аквакультурной стерляди.

Таблица 3 – Оценка достоверности происхождения

Table 3 – Assessment of the reliability of origin

Параметр / Parameter	NV	OK	SX
P_1	$4,23 \cdot 10^{-10}$	$3,69 \cdot 10^{-13}$	$8,12 \cdot 10^{-10}$
P_1	99,93	99,99	99,88
P_2	98,62	99,87	97,80
P_3	99,99	99,99	99,99

Примечание: P_1 – вероятность совпадения генотипов. P_1 – исключение одного родителя, если известны генотипы обоих родителей и потомка. P_2 – исключение родителя, если известны генотипы одного родителя и потомка; P_3 – исключение обоих родителей, если известны генотипы родителей и потомка. Расшифровку аббревиатур для стад заводской стерляди см. в разделе «Материалы и методы».

Note: P_1 is the probability of a genotype match. P_1 is the exclusion of one parent if the genotypes of both parents and offspring are known. P_2 is the exclusion of the parent if the genotypes of one parent and descendant are known; P_3 is the exclusion of both parents if the genotypes of the parents and descendant are known. For an explanation of the abbreviations for stud sterlet, see the section "Materials and Methods"

Так, вероятность совпадения генотипов (P_i) для разработанной STR-панели колебалась от $3,7 \cdot 10^{-13}$ у ОК до $8,1 \cdot 10^{-10}$ у SX, т.е. была практически исключена. Значения вероятности исключения (P_1, P_2, P_3), рассчитанные по результатам разработанной тест-системы, были минимальными у SX и максимальными у ОК и колебались от 99,88 до 99,99% для P_1 . Параметр P_2 составлял 98,62% у NV и 99,87% для ОК популяции. Для P_3 составило 99,99% для всех исследуемых групп. Эти данные подтверждают высокую информативность анализа ДНК 149 особей для установления достоверности происхождения заводской стерляди и функциональные возможности разработанной STR-панели.

Для оценки генетического разнообразия популяций стерляди часто используют показатели аллельного разнообразия, а также степени гетерозиготности, которые рассчитываются по каждому локусу, и в среднем по всем используемым локусам. Результаты анализа основных показателей генетической изменчивости каждой исследуемой группы представлены в таблице 4 [24].

Таблица 4 – Параметры генетического разнообразия исследуемой выборки стерляди на основе анализа 12-ти микросателлитных локусов

Table 4 – Parameters of the genetic diversity of the sterlet sample under study based on the analysis of 12 microsatellite loci

POP	N_A	N_E	I	H_O	H_E	F_{IS}
NV	$6,583 \pm 1,076$	$3,507 \pm 0,624$	$1,251 \pm 0,217$	$0,563 \pm 0,098$	$0,573 \pm 0,090$	$0,019 \pm 0,063$
ОК	$9,833 \pm 1,502$	$5,243 \pm 1,015$	$1,593 \pm 0,250$	$0,608 \pm 0,085$	$0,651 \pm 0,087$	$0,050 \pm 0,035$
SX	$7,333 \pm 1,096$	$3,229 \pm 0,503$	$1,247 \pm 0,178$	$0,570 \pm 0,084$	$0,587 \pm 0,074$	$0,029 \pm 0,054$

Примечание: N_A – среднее число аллелей на локус. N_E – число эффективных аллелей на локус; I – информационный индекс Шеннона. H_O – наблюдаемая гетерозиготность. H_E – ожидаемая гетерозиготность. Расшифровку аббревиатур для стад заводской стерляди см. в разделе «Материалы и методы».

Note: N_A is the average number of alleles per locus. N_E is the number of effective alleles per locus; I is the Shannon Information Index. H_O is the observed heterozygosity. H_E is expected heterozygosity. For the explanation of abbreviations for the herds of factory sterlet, see the section "Materials and methods".

Среднее число аллелей на локус для всей выборки составило 7,917, что превышает средние значения данного показателя, обнаруженные в популяциях заводской стерляди на рыбной ферме «Рёнфорелле» в Герсфельде, (Германия), с использованием 15 микросателлитов и рыбоводном хозяйстве в Сиане (Китай) на основании анализа 10 локусов: 7,2 и 4,0 соответственно [22, 23].

Индекс Шеннона (I) показал, что окская популяция стерляди обладает умеренным генетическим разнообразием ($1,593 \pm 0,250$). Остальные группы стерляди имели низкие значения ($NV = 1,251 \pm 0,217$, $SX = 1,247 \pm 0,178$), но при сравнительном анализе их генетическое разнообразие оказалось схоже друг с другом. Наибольшим уровнем наблюдаемой (H_O) и ожидаемой (H_E) гетерозиготности характеризовалась окская группа стерляди (ОК) (0,608 и 0,651, соответственно), а наименьшим – нижеволжская стерлядь (0,563 и 0,573, соответственно).

Результаты исследования коэффициента инбридинга (F_{IS}) свидетельствуют о том, что все популяции стерляди проявляют недостаток гетерозигот. В данной выборке окская популяция стерляди проявила максимальную степень инбридинга ($0,050 \pm 0,035$), в то время как у сухонской популяции значение показателя составило $0,029 \pm 0,054$, а у нижеволжской популяции – $0,019 \pm 0,063$.

Заключение. В результате проведенных исследований была создана мультиплексная тест-система, которая позволяет проводить анализ двенадцати STR-локусов, продемонстрирована ее высокая функциональная эффективность. Путем учета множества критериев, включая вероятность совпадения генотипов и вероятность исключения в качестве родителя (родителей), можно заключить, что созданная мультилокусная тест-система STR-маркеров является надежным инструментом для проверки достоверности происхождения аквакультурной стерляди. Кроме этого, представленная тест-система может быть применима для оценки популяционно-

генетических параметров выборок стерляди. Так генетический анализ показал, что коэффициент инбридинга (F_{IS}) во всех популяциях стерляди были больше нуля. Наиболее вероятная причина наблюдаемого эффекта – применение в рыбоводных хозяйствах системы спаривания, направленной на достижение поставленных целей, к примеру снижение инбридинга или процессов закрепления хозяйственно-полезных признаков во время проведения селекционной работы, хотя не исключено также действие других факторов (конечные размеры популяции, неслучайное скрещивание особей, влияние отбора и др.).

В перспективе на основе разработанной тест-системы будут продолжены исследования увеличенной выборки представителей рода *Acipenser ruthenus* с целью оценки происхождения, характеристики генетической структуры и установления генетических взаимоотношений различных популяций стерляди, разводимых в России.

Conclusions. As a result of the research, a multiplex test system was created that allows analysis of twelve STR loci, and its high functional efficiency was demonstrated. By taking into account many criteria, including the probability of matching genotypes and the probability of exclusion as a parent (parents), we can conclude that the created multilocus test system of STR markers is a reliable tool for checking the authenticity of the origin of aquaculture sterlet. In addition, the presented test system can be applied to assess the population genetic parameters of sterlet samples. Thus, genetic analysis showed that the coefficient of inbreeding (F_{IS}) in all sterlet populations was greater than zero. The most likely reason for the observed effect is the use of a mating system in fish farms aimed at achieving set goals, for example, reducing inbreeding or the processes of fixing economically useful traits during breeding work, although the influence of other factors (final population sizes, non-random crossing of individuals, influence of selection, etc.)

In the future, based on the developed test system, studies will be continued on an increased sample of representatives of the genus *Acipenser ruthenus* in order to assess the origin, characterize the genetic structure and establish the genetic relationships of various populations of sterlet bred in Russia.

Библиографический список

1. Volosnikov G. Review of data on biology of sterlet *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758). Vestnik of Astrakhan State Technical University. 2017. No 2. Pp. 67-72.
2. Gessner J., Freyhof J., Kottelat M., Friedrich T. *Acipenser ruthenus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2022. e.T227A135062526.
3. Быков А. Д., Бражник С. Ю. Современное состояние запасов и искусственного воспроизводства стерляди в России. Вопросы рыболовства. 2022. Т. 23. № 3. С. 5-30.
4. Васильева Л. М. Современные проблемы осетроводства в России и мире. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2015. № 2 (6). С. 30-36.
5. Абдельманова А. С., Волкова В. В., Доцев А. В., Зиновьева Н. А. Характеристика генетического разнообразия современной и архивной популяций крупного рогатого скота черно-пестрой породы с использованием микросателлитных маркеров. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 2. С. 34-38.
6. Никипелов В. И., Бардуков Н. В., Харзинова В. Р., Грозеску Ю. Н., Зиновьева Н. А. Характеристика микросателлитных локусов и их полиморфизма у аквакультурной стерляди (*Acipenser ruthenus*). Генетика и разведение животных. 2023. № 5 (2). 13 с.
7. Харзинова В. Р., Зиновьева Н. А. Паттерн генетического разнообразия у локальных и коммерческих пород свиней на основе анализа микросателлитов. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 7. С. 747-754.
8. Харзинова В. Р., Кудрявцев А. В., Семерикова М. Н., Зиновьева Н. А. Изучение популяционной структуры и генетического разнообразия чукотской породы северного оленя на основе анализа микросателлитов. Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 9. С. 87-92.
9. <https://www.syntol.ru/catalog/nabory-dlya-analiza-str-lokusov-zhivotnykh/nabor-reagentov-genekspert-osyetr-dlya-geneticheskoy-pasportizatsii-i-opredeleniya-rodstva-osetrovykh.html>.
10. Барминцева А. Е., Мюре Н. С. Использование микросателлитных локусов для установления видовой принадлежности осетровых (*Acipenseridae*) и выявления особей гибридного происхождения. Генетика. 2013. Т. 49. № 9. С. 1093-1105.
11. Макарова Е. Г., Козлова Н. В. Генетический мониторинг молодежи стерляди (*Acipenser ruthenus*) в реке Волге. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 5.
12. Dudu A., Georgescu S., Burcea A., Florescu I., Costache M. Microsatellites Variation in Sterlet Sturgeon, *Acipenser ruthenus* from the Lower Danube. Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies. 2013. V. 46. Pp. 90-96.
13. Pekarik L., et al. Current stocking program of the sterlet (*Acipenser ruthenus*, L.) can negatively shape its genetic variability in the Middle Danube. Zoology Lab, Plant Science and Biodiversity Center. 2019. V. 8. No. 19. Pp. 2-8.
14. Welsh A., May B. Development and standardization of disomic microsatellite markers for lake sturgeon genetic studies. Journal of Applied Ichthyology. 2006. V. 22 (5). Pp. 337-344.
15. Yacheng Hu, et al. Development and characterization of novel cross-species tetranucleotide microsatellite markers for sterlet (*Acipenser ruthenus*) from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*). Chinese Sturgeon Research Institute. Yichang, 2019. Pp. 3-10.
16. Peakall R., Ebert D., Cunningham R., Lindenmayer D. B. Mark-recapture by genetic tagging reveals restricted movements by bush rats, *Rattus fuscipes*, in a fragmented landscape. Journal of Zoology. 2006. No. 268. Pp. 207-216.

17. Jamieson A. The effectiveness of using co-dominant polymorphic allelic series for (1) checking pedigrees and (2) distinguishing full-sib pair members. *Animal Genetics*. 1994. V. 25 (1). Pp. 37-44.
18. Jamieson A., Taylor S. C. S. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion. *Animal Genetics*. 1997. V. 28. Pp. 397-400.
19. Brown A. H. D., Weir B. S. Measuring genetic variability in plant populations. In: *Isozymes in plant genetics and breeding, Part A*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 1983. Pp. 219-239.
20. Hartl D. L., Clark A. G. Principles of population genetics. Sinauer Associates. 1997. 542 p.
21. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012. V. 28. Pp. 2537-2539.
22. Kohlmann K., Kersten P., Gessner J., Onara D., Taflan E., Radu S. New microsatellite multiplex PCR sets for genetic studies of the sterlet sturgeon, *Acipenser ruthenus*. *Environmental Biotechnology*. 2017. V. 13. Pp. 11-17.
23. Wang J., Sun Z., Jiang L., Hu Y. Developing microsatellite duplex PCR reactions for sterlet (*Acipenser ruthenus*) and their application in parentage identification. *Scientific Reports*. 2022. No. 12. P. 12036.
24. Maletsanake D., Nsoso S. J., Kgwalalala P. M. Genetic variation from 12 microsatellite makers in an indigenous Tswana goat flock in Southeastern Botswana. *Livestock research for rural development*. 2013. V. 25. P. 2.

References

1. Volosnikov G. Review of data on biology of sterlet *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758). *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2017. No. 2. Pp. 67-72.
2. Gessner J., Freyhof J., Kottelat M., Friedrich T. *Acipenser ruthenus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2022. e.T227A135062526.
3. Bykov A. D., Brazhnik S. Y. Current State of Sterlet Stocks and Artificial Reproduction in Russia. *Fisheries issues*. 2022. V. 23. № 3. Pp. 5-30.
4. Vasil'eva L. M. Modern problems of sturgeon breeding in Russia and the world. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2015. № 2 (6). Pp. 30-36.
5. Abdelmanova A. S., Volkova V. V., Dotsev A. V., Zinovieva N. A. Characteristics of Genetic Diversity of Modern and Archival Populations of Black-and-White Cattle Using Microsatellite Markers. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2020. V. 34. № 2. Pp. 34-38.
6. Nikipelov V. I., Bardukov N. V., Kharzinova V. R., Grozescu Y. N., Zinovieva N. A. Characteristics of Microsatellite Loci and Their Polymorphism in Aquaculture Sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Genetics and animal breeding*. 2023. No 5 (2). 13 p.
7. Kharzinova V. R., Zinovieva N. A. Pattern of Genetic Diversity in Local and Commercial Pig Breeds Based on Microsatellite Analysis. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. V. 24. № 7. Pp. 747-754.
8. Kharzinova V. R., Kudryavtsev A. V., Semerikova M. N., Zinovieva N. A. Study of the population structure and genetic diversity of the Chukchi reindeer breed based on the analysis of microsatellites. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2023. V. 37. № 9. Pp. 87-92.
9. <https://www.syntol.ru/catalog/nabory-dlya-analiza-str-locusov-zhivotnykh/nabor-reagentov-genekspert-osyetr-dlya-geneticheskoy-pasportizatsii-i-opredeleniya-rodstva-osetrovykh.html>.
10. Barmintseva A. E., Muge N. S. Use of Microsatellite Loci to Establish Sturgeon (*Acipenseridae*) Species and Identify Individuals of Hybrid Origin. *Genetics*. 2013. V. 49. № 9. Pp. 1093-1105.
11. Makarova E. G., Kozlova N. V. Genetic Monitoring of Sterlet Juveniles (*Acipenser ruthenus*) in the Volga River. *Fish farming and fisheries*. 2023. № 5.
12. Dudu A., Georgescu S., Burcea A., Florescu I., Costache M. Microsatellites Variation in Sterlet Sturgeon, *Acipenser ruthenus* from the Lower Danube Scientific Papers: *Animal Science and Biotechnologies*. 2013. V. 46. Pp. 90-96.
13. Pekarik L., et al. Current stocking program of the sterlet (*Acipenser ruthenus*, L.) can negatively shape its genetic variability in the Middle Danube. *Zoology Lab, Plant Science and Biodiversity Center*. 2019. V. 8. No 19. Pp. 2-8.
14. Welsh A., May B. Development and standardization of disomic microsatellite markers for lake sturgeon genetic studies. *Journal of Applied Ichthyology*. 2006. V. 22 (5). Pp. 337-344.
15. Yacheng Hu, et al. Development and characterization of novel cross-species tetranucleotide microsatellite markers for sterlet (*Acipenser ruthenus*) from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*). *Chinese Sturgeon Research Institute*. Yichang, 2019. Pp. 310.
16. Peakall R., Ebert D., Cunningham R., Lindenmayer D. B. Mark-recapture by genetic tagging reveals restricted movements by bush rats, *Rattus fuscipes*, in a fragmented landscape. *Journal of Zoology*. 2006. No 268. Pp. 207-216.
17. Jamieson A. The effectiveness of using co-dominant polymorphic allelic series for (1) checking pedigrees and (2) distinguishing full-sib pair members. *Animal Genetics*. 1994. V. 25 (1). Pp. 37-44.
18. Jamieson A., Taylor S. C. S. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion. *Animal Genetics*. 1997. V. 28. Pp. 397-400.
19. Brown A. H. D., Weir B. S. Measuring genetic variability in plant populations. In: *Isozymes in plant genetics and breeding, Part A*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 1983. Pp. 219-239.
20. Hartl D. L., Clark A. G. Principles of population genetics. Sinauer Associates. 1997. 542 p.
21. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012. V. 28. Pp. 2537-2539.
22. Kohlmann K., Kersten P., Gessner J., Onara D., Taflan E., Radu S. New microsatellite multiplex PCR sets for genetic studies of the sterlet sturgeon, *Acipenser ruthenus*. *Environmental Biotechnology*. 2017. V. 13. Pp. 11-17.
23. Wang J., Sun Z., Jiang L., Hu Y. Developing microsatellite duplex PCR reactions for sterlet (*Acipenser ruthenus*) and their application in parentage identification. *Scientific Reports*. 2022. No. 12. P. 12036.
24. Maletsanake D., Nsoso S. J., Kgwalalala P. M. Genetic variation from 12 microsatellite makers in an indigenous Tswana goat flock in Southeastern Botswana. *Livestock research for rural development*. 2013. V. 25. P. 2.

Информация об авторах

Никипелов Владислав Игоревич, младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0009-0008-6411-2454, e-mail: vladnikipelovvij@mail.ru

Харзинова Вероника Руслановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), e-mail: veronika0784@mail.ru

Волкова Валерия Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0002-2080-0182, e-mail: moonlit_elf@mail.ru

Бардуков Николай Владимирович, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0002-5497-2409, e-mail: bardukv-nikolaj@mail.ru

Никипелова Амина Кумаровна, аспирант, младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0009-0002-8248-7555, e-mail: nikipelova_aminavij@mail.ru

Грозеску Юлия Николаевна, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Аквакультура и рыболовство» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Астраханского государственного технического университета (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Зиновьева Наталия Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0003-4017-6863, e-mail: n_zinovieva@mail.ru

Author's Information

Nikipelov Vladislav Igorevich, junior researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0009-0008-6411-2454, e-mail: vladnikipelovvij@mail.ru

Kharzinova Veronika Ruslanovna, Candidate of Biological Sciences, leading researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L.K. Ernst. (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0002-8067-0404, e-mail: veronika0784@mail.ru

Volkova Valeria Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, senior researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0002-2080-0182, e-mail: moonlit_elf@mail.ru

Bardukov Nikolay Vladimirovich, researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst. (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0002-5497-2409, e-mail: bardukv-nikolaj@mail.ru

Nikipelova Amina Kumarovna, graduate student, junior researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst. (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0009-0002-8248-7555, e-mail: nikipelova_aminavij@mail.ru

Grozesku Yulia Nikolaevna, professor, doctor of agricultural sciences, associate professor, head of the department of "Aquaculture and Fisheries" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, st. Tatishcheva, 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Zinovieva Natalia Anatolyevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0003-4017-6863, e-mail: n_zinovieva@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-33

SEARCHING FOR DESIRABLE GENOTYPES OF FATHERS AND MOTHERS OF AYRSHIRE COWS USING THE BREEDING INDEX

Romanova E. A., Tulinova O. V.

*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: splicing86@gmail.com

Received 05.02.2024

Submitted 22.04.2024

The work was carried out as part of the scientific research of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic No. 124020200029-4.

The materials of the Ayrshire Breed Breeding Center (VNIIGRZH) were used in the research

Summary

The article presents the results of research on the formation of breeding groups of Ayrshire cows using the index selection method to find the most effective combinations of desired genotypes of fathers and mothers of cows with different levels of selection pressure. Selection boundaries and the most effective combina-

tions for the recommended selection of parental pairs using the I_{AYR} index have been established. The best animals in terms of breeding and productive qualities can be used when planning custom matings and insemination with sperm of especially valuable sires.

Abstract

Introduction. Intensification of cattle breeding requires acceleration of the processes of obtaining animals with the greatest productivity potential, therefore the use of genetically determined assessments in conjunction with selection by indices that take into account the milk productivity of cows and other important economically useful traits is a pressing issue in modern breeding work. **Object.** The studies were conducted on data on milk productivity and reproductive qualities of 65753 first-calving cows that lactated from 2002 to 2020 from 8 regions of Russia: Vologda region, Leningrad region, Kirov region, Komi Republic, Republic of Karelia, Central Federal District, Siberian Federal District, Southern Federal District. **Materials and methods.** Biometric processing of the obtained data was carried out using statistical analysis methods in Microsoft Office Excel and RStudio. The construction of statistical groupings for the formation of selection groups using the SI_{AYR} index was carried out on the basis of standard procedures for normal distribution into groups: $SI_{AYR} > 4000$ ($n=14619$); $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ ($n=31318$) and $SI_{AYR} < 0$ ($n=19816$). **Results and conclusion.** Analysis of absolute productivity data revealed that the milk yield for 305 days of the first lactation of cows of the $SI_{AYR} > 4000$ group was 7324 kg, which was significantly higher by 773 and 960 kg ($p \leq 0.001$) compared to the other two groups. The yield of fat in their milk was at the level of 302.0 kg, protein – 242.5 kg, which is also higher by 32.2 and 26.5 kg ($p \leq 0.001$) compared to the group $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ and the group $SI_{AYR} < 0$ by 35.4 and 32.0 kg ($p \leq 0.001$), respectively. It has been established that with a selection pressure of 70%, the predicted selection effect on milk yield per generation is +124 kg. When the pressure increases to 30%, the selection effect increases more than 2 times and amounts to +280 kg ($p \leq 0.001$). With 10% selection of cows into the breeding core, the average milk yield reaches 7797 ± 15.3 kg, with a selection effect of +452 kg per generation or +90 kg per year ($p \leq 0.001$). Animals from the combinations $SI_{AYR} > 4000$ and $DI_{AYR} > 4000$, $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ and $DI_{AYR} > 4000$ can be used when planning custom matings and insemination with sperm of especially valuable sires.

Keywords: cow milk yield, Ayrshire cow breed, cattle index selection, heritability coefficient, selection differential, selection effect, EBV, BLUP AM.

Citation. Romanova E. A., Tulinova O. V. Searching for desirable genotypes of fathers and mothers of ayrshire cows using the breeding index. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 283-291 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-33.

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 636.082

ПОИСК ЖЕЛАТЕЛЬНЫХ ГЕНОТИПОВ ОТЦОВ И МАТЕРЕЙ КОРОВ АЙРШИРСКОЙ ПОРОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕКЦИОННОГО ИНДЕКСА

Романова Е. А., младший научный сотрудник
Тулинова О. В., кандидат сельскохозяйственных наук

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста»
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Российская Федерация

Работа проведена в рамках выполнения научных исследований Министерства науки и высшего образования РФ по теме № 124020200029-4. В исследованиях использованы материалы Селекционного центра по айрширской породе (ВНИИГРЖ)

Актуальность. Интенсификация животноводства требует ускорения процессов получения животных с наибольшим потенциалом продуктивности, поэтому использование генетически детерминированных оценок в сочетании с селекцией по индексам, учитывающим молочную продуктивность коров и другие важные хозяйственно полезные признаки, является актуальной задачей в современной селекционной работе. **Объект.** Исследования проведены по данным молочной продуктивности и воспроизводительным качествам 65753 коров-первотелок, лактировавших с 2002 по 2020 гг. из 8 регионов России: Вологодская область, Ленинградская область, Кировская область, Республика Коми, Республика Карелия, Центральный федеральный округ, Сибирский федеральный округ, Южный федеральный округ. **Материалы и методы.** Биометрическую обработку полученных данных осуществляли методами статистического анализа в Microsoft Office Excel и RStudio. Построение статистических группировок для формирования выборочных групп с использованием индекса SI_{AYR} осу-

существовало на основе стандартных процедур нормального распределения по группам: $SI_{AYR} > 4000$ ($n=14619$); $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ ($n=31318$) и $SI_{AYR} < 0$ ($n=19816$). **Результаты и выводы.** Анализ данных абсолютной продуктивности показал, что удой за 305 дней по первой лактации коров группы $SI_{AYR} > 4000$ составил 7324 кг, что достоверно выше на 773 и 960 кг ($p \leq 0,001$) по сравнению с двумя другими группами. Выход жира в их молоке находился на уровне 302,0 кг, белка – 242,5 кг, что также выше на 32,2 и 26,5 кг ($p \leq 0,001$) по сравнению с группой $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ и группой $SI_{AYR} < 0$ на 35,4 и 32,0 кг ($p \leq 0,001$) соответственно. Установлено, что при селекционном давлении 70 % прогнозируемый селекционный эффект по удою за поколение составляет +124 кг. При увеличении давления до 30 % эффект селекции возрастает более чем в 2 раза и составляет +280 кг ($p \leq 0,001$). При 10 % отборе коров в племенное ядро среднее значение удоя достигает $7797 \pm 15,3$ кг, с эффектом селекции +452 кг за поколение или +90 кг в год ($p \leq 0,001$). Животные из сочетаний $SI_{AYR} > 4000$ и $DI_{AYR} > 4000$, $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ и $DI_{AYR} > 4000$ могут быть использованы при планировании заказных спариваний и осеменении спермой особо ценных производителей.

Ключевые слова: удой коров, айрширская порода коров, индексная селекция скота, коэффициент наследуемости, селекционный дифференциал, эффект селекции, EBV, BLUP AM.

Цитирование. Романова Е. А., Тулинова О. В. Поиск желательных генотипов отцов и матерей коров айрширской породы с использованием селекционного индекса. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 283-291. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-33.

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. Создание селекционной группы коров – важный технологический процесс, его успех зависит от точности оценки животных по селекционным признакам [1, 2]. Формирование селекционной группы и отбор маточного поголовья методами независимых уровней выбраковки, то есть по каждому признаку отдельно, требуют длительного периода для достижения селекционных целей и не отличаются высокой эффективностью [3]. Альтернативным методом селекции при формировании племенного ядра может считаться индексная селекция, которая позволяет учитывать комплекс признаков, в том числе и экономическую эффективность конкретной особи. Это дает возможность эффективно определить племенную ценность коров и в последующем получить потомство с желательными качествами [4, 5].

Интересы интенсификации скотоводства требуют ускорения процессов получения животных с наибольшим потенциалом продуктивности, поэтому индексная оценка коров постоянно развивается и совершенствуется, о чем свидетельствует включение в формулы индексов более широкого спектра факторов и признаков, не только производственных характеристик, но и воспроизводительных качеств, показателей развития и долголетия [6-8].

Важным инструментом в современной селекционно-племенной работе для оценки генетической ценности животных и отбора лучших генотипов является наилучший несмещенный прогноз BLUP [9]. Данный метод комплексной оценки животных дает возможность выразить племенную ценность коровы математически и провести отбор более успешно [10]. Применение генетически обусловленных оценок в совокупности с отбором по индексам, учитывающим молочную продуктивность коров и другие важные хозяйственно полезные признаки, актуальный вопрос современной племенной работы [11, 12].

Цель исследования. Выявление наиболее эффективных сочетаний желательных генотипов отцов и матерей коров при формировании разных селекционных групп с давлением отбора: 10% (быкопроизводящей группа), 30% (племенное ядро стада) и 70% с помощью установления оптимальных границ для управления селекционным процессом.

Материалы и методы. Сформирован массив данных по молочной продуктивности и воспроизводительным качествам 65753 коров первого отела, лактировавших в период с 2002 по 2020 гг. Для формирования выборки использована обработанная в компьютерной программе «СГС – ВНИИГРЖ» информация племенного учета из электронной системы ИАС «СЕЛЭКС» 34 хозяйств по разведению крупного рогатого скота айрширской породы из 8 регионов России: Вологодская область, Ленинградская область, Кировская область, Республика Коми, Республика Карелия, Центральный ФО, Сибирский ФО, Южный ФО.

Биометрическая обработка полученных данных проводилась с использованием статистических методов анализа в программах Microsoft Office Excel и RStudio. Вариационно-ковариационные компоненты признаков оценивали методом ограниченного максимального

правдоподобия (Restricted Maximum Likelihood Estimation, REML) с использованием модуля RENUMF90. Оценки племенной ценности первотелок EBV (Estimation Breeding Value) получали с помощью программы семейства BLUPF90.

Используемая модель BLUP AM для оценки признаков молочной продуктивности и показателей развития исследуемых животных имела вид:

$$Y_{ijk} = \mu + HYS_i + b_1 AFC_k + b_2 DO_k + Animal_k + e_{ijk} \quad (1)$$

где Y_{ijk} – результирующий показатель (удой, процентное содержание жира и белка, количество молочного жира и белка, живая масса в 10 мес., при первом осеменении и после первого отела) к-й первотелки, дочери j-го быка, лактировавшей в i-ой градации «стадо – год – сезон»; μ – популяционная константа; HYS_i – фиксированный фактор i-й градации «стадо-год-сезон»; b_1 – коэффициент линейной регрессии результирующего фактора на возраст первого отела; AFC_k – возраст 1-го отела k-ой коровы (мес); b_2 – коэффициент квадратичной регрессии результирующего фактора на сервис-период; DO_k – продолжительность сервис-периода k-й коровы (в днях); $Animal_k$ – рандомизированный эффект животного; e_{ijk} – остаточный эффект модели, связанный с влиянием факторов, неучтенных в уравнении оценки.

Оценка воспроизводительных качеств коров проводилась с использованием следующей модели BLUP AM:

$$Y_{ijk} = \mu + HYS_i + bL_k + Animal_k + e_{ijk} \quad (2)$$

где Y_{ijk} – результирующий показатель (возраст первого отела, сервис период, межотельный период, индекс плодовитости) к-й первотелки, дочери j-го быка, лактировавшей в i-ой градации «стадо-год-сезон»; μ – популяционная константа; HYS_i – фиксированный фактор i-й градации «стадо-год-сезон»; b_1 – коэффициент линейной регрессии результирующего фактора на количество лактации; L_k – количество лактации k-ой коровы; $Animal_k$ – рандомизированный эффект животного; e_{ijk} – остаточный эффект модели.

Точность прогноза или надежность оценки животного (reliability, REL) рассчитывали по формуле:

$$REL = 1 - \frac{PEV_i}{\sigma_a^2} \quad (3)$$

где PEV (Prediction Error Variance) – прогнозируемая ошибка дисперсии или доля аддитивной генетической вариации, не учитываемая прогнозом; σ_a^2 – аддитивная генетическая вариация.

Моделирование отбора проводили по общепопуляционному селекционному индексу для коров AI_{AYR} айрширской породы:

$$AI_{AYR} = 8,59 \times EBV_{MY} + 7,19 \times EBV_{FAT} + 21,28 \times EBV_{PROT} + 0,10 \times EBV_{W_{10}} + 0,10 \times EBV_{FI} \quad (4),$$

где I_{AYR} – общепопуляционный полифакторный индекс для айрширского скота; EBV (Estimation Breeding Value) – индивидуальная оценка животного по признакам: MY (Milk yield) – удой за 305 дней, кг; FAT – выход жира, кг; PROT – выход белка, кг; W_{10} – живая масса в 10 мес., кг; FI – индекс плодовитости.

Согласно базовой модели индекса AI_{AYR} , проведена оценка родителей, для отцов – SI_{AYR} и матерей коров – DI_{AYR} , с использованием собственных оценок EBV методом BLUP AM.

Построение статистических группировок при формировании селекционных групп с применением индекса SI_{AYR} проведено с помощью стандартных процедур нормального распределения. Согласно вероятности нормального распределения и среднеквадратического отклонения индекса SI_{AYR} с округлением значения до целого числа принята разбивка на группы: $SI_{AYR} > 4000$ ($n=14619$); $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ ($n=31318$) и $SI_{AYR} < 0$ ($n=19816$).

Индекс плодовитости Й. Дохи (FI – Fertility Index) рассчитан по формуле:

$$FI = 100 - (AFC + 2 \times ICP) \quad (5)$$

где AFC – возраст первого отела, мес.; ICP – межотельный период, мес.

Ответ на отбор или селекционный дифференциал рассчитывали через разность между средней продуктивностью отобранных животных и средней продуктивностью популяции, на основании которой определяли эффект селекции:

$$S_e = \frac{S_d \times h^2}{i} \quad (6)$$

где S_e – эффект селекции; S_d – селекционный дифференциал; h^2 – наследуемость признака; i – интервал между поколениями, лет.

Коэффициент наследуемости вычисляли с применением дисперсионного анализа по уравнению:

$$h^2 = \frac{\text{VarA}}{\text{VarA} + \text{VarPE} + \text{VarE}} \quad (7)$$

где VarA – аддитивная генетическая вариация, VarPE – вариация постоянно действующих факторов среды, VarE – остаточная вариация ошибки.

Результаты и обсуждение. В среднем по всему массиву данных исследуемых животных удой коров за 305 дней первой лактации составил $6667 \pm 5,2$ кг молока, при $\min = 2156$ кг и $\max = 12367$ кг, с процентным содержанием жира и белка $4,14 \pm 0,001$ и $3,30 \pm 0,001$ %. Среднее значение общепопуляционного индекса AI_{AYR} составило $1049,1 \pm 12,7$, с минимальным значением $-16527,4$ и максимальным $18701,8$ (таблица 1). Отмечено значительное превышение среднего значения индекса SI_{AYR} $1515,2 \pm 14,6$ над DI_{AYR} $564,1 \pm 11,1$. Доля первотелок с индексом $SI_{AYR} > 4000$ от всего поголовья выборки составила 22,2%, в группе $SI_{AYR} < 0$ – больше на 8,0% (30,2%), а основная масса животных 47,6% сосредоточена в группе $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$. Анализ группировки коров по индексам отца выявил, что при $SI_{AYR} > 4000$ индекс пробанда AI_{AYR} больше по сравнению со средним по выборке на $2662,5$ ($p \leq 0,001$) и имел значение $3711,6 \pm 25,0$, при этом у отцов SI_{AYR} составил $6587,7 \pm 19,9$, а у матерей $DI_{AYR} = 890,1 \pm 25,2$. Коровы группы $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ имели приближенные значения по отношению к среднему по выборке, разница между ними составила по $AI_{AYR} = 40,8$, по $SI_{AYR} = 236,5$ и по $DI_{AYR} = -66,1$ ($p \leq 0,001$). Отрицательные значения индекса AI_{AYR} у пробанда наблюдались в группе $SI_{AYR} < 0$. Несмотря на положительную оценку по матерям, равную $427,9 \pm 19,9$, среднее значение индекса AI_{AYR} составило $-979,7 \pm 20,7$, что обусловлено экстремально низким средним значением индекса SI_{AYR} , равным $-2600,6 \pm 15,2$.

Таблица 1 – Селекционно-генетические параметры индексов SI_{AYR} , DI_{AYR} и AI_{AYR}
Table 1 – Selection and genetic parameters of the SI_{AYR} , DI_{AYR} and AI_{AYR} indices

Параметр / Parameter	SI_{AYR}	DI_{AYR}	AI_{AYR}
$I_{AYR} (n=65753)$			
$M \pm m$	$1515,2 \pm 14,6$	$564,1 \pm 11,1$	$1049,1 \pm 12,7$
σ	3755,4	2857,2	3266,8
min	-13923,2	-16527,4	-16527,4
max	13942,1	16147,4	18701,8
$SI_{AYR} > 4000 (n=14619)$			
$M \pm m$	$6587,7 \pm 19,9$	$890,1 \pm 25,2$	$3711,6 \pm 25,0$
σ	2400,7	3050,3	3025,8
min	4044,6	-16527,4	-10993,0
max	13942,1	16147,4	18701,8
$0 \leq SI_{AYR} \leq 4000 (n=31318)$			
$M \pm m$	$1751,7 \pm 6,3$	$498,0 \pm 15,7$	$1089,9 \pm 14,8$
σ	1110,6	2782,6	2613,7
min	5,3	-16527,4	-13300,5
max	3923,8	14966,8	15307,2
$SI_{AYR} < 0 (n=19816)$			
$M \pm m$	$-2600,6 \pm 15,2$	$427,9 \pm 19,9$	$-979,7 \pm 20,7$
σ	2141,049	2807,814	2917,626
min	-13923,2	-15161,6	-16527,4
max	-7,82523	15307,19	12573,35

В ходе исследования установлено значительное варьирование оценок хозяйственно полезных признаков EBV у пробанда в зависимости от величины индекса SI_{AYR} . В среднем оценка по удою за 305 дней у животных группы $SI_{AYR} < 0$ составила -102 (таблица 2), а в группе $SI_{AYR} > 4000$ коровы имели оценку практически в 4 раза выше, которая составила

EBV = +390. В группе $SI_{AYR} > 4000$ выявлены преимущества оценок по показателям выхода жира и белка EBV = 13,29 и 11,20 по сравнению с группой $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$, где в среднем эти значения составили 3,16 и 3,09 соответственно, а так же с группой $SI_{AYR} < 0$ с отрицательными значениями оценок EBV = -4,41 и -3,49 соответственно. Процентное содержание жира и белка, напротив имели низкие отрицательные оценки -0,04 и -0,02 в группе $SI_{AYR} > 4000$ и -0,03 и -0,01 в $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$, что объясняется специфической корреляционной зависимостью между удоем и качественным составом молока. Высокая достоверность оценок по удою и качественным показателям молока, которые варьировали от Rel = 0,48 по выходу жира в группе $SI_{AYR} < 0$ до Rel = 0,58 по содержанию белка. Оценки показателей развития исследуемых животных также различались в зависимости от уровня индекса SI_{AYR} . Так в группе $SI_{AYR} < 0$ оценка за живую массу в 10 мес. (W10) составила EBV = 0,2 (Rel = 0,49), в группе $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ среднее значение W10 увеличилось на 1,8 и составило EBV = 2,0 (Rel = 0,50), а в группе $SI_{AYR} > 4000$, оно достигло EBV = 4,0 (Rel = 0,50). Подобная тенденция роста оценок наблюдалась с показателями живой массы при первом осеменении (Wins) и живой массой после первого отела (W1c).

Таблица – 2 Изменение оценок EBV хозяйственно полезных признаков пробанда в зависимости от группы SI_{AYR} , (n=65753)
Table 2 – Changes in EBV estimates of economically useful traits of the proband depending on the SI_{AYR} group, (n=65753)

Признаки / Signs	Абсолютные значения / Absolute values	$SI_{AYR} > 4000$ (n=14619)		$0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ (n=31318)		$SI_{AYR} < 0$ (n=19816)	
	M±m	EBV	Rel	EBV	Rel	EBV	Rel
Milk yield, kg	6667±5,3	390	0,52	117	0,52	-102	0,51
Fat%	4,14±0,001	-0,04	0,55	-0,03	0,55	0,00	0,54
Fat, kg	276,0±0,23	13,3	0,49	3,2	0,49	-4,4	0,48
Prot%	3,30±0,001	-0,02	0,58	-0,01	0,58	0,00	0,57
Prot, kg	220,3±0,19	11,2	0,50	3,1	0,50	-3,5	0,49
W10, kg	245,1±0,14	4,0	0,50	2,0	0,50	0,2	0,49
Wins, kg	373,3±0,13	3,3	0,49	0,9	0,49	-0,6	0,48
W1c, kg	499,8±0,18	4,9	0,49	1,4	0,49	0,8	0,47
AFC, month	26,7±0,01	-0,5	0,38	-0,2	0,38	-0,1	0,36
DO, days	129,7±0,33	3,9	0,27	-0,6	0,27	-0,4	0,25
ICP, days	407,5±0,33	4,0	0,27	-0,5	0,27	-0,2	0,25
FI	46,6±0,02	0,2	0,32	0,2	0,31	0,1	0,29

Примечания: Milk yield, kg – удой за 305 дн., кг; Fat% – процентное содержание жира, %; Fat, kg – выход жира, кг; Prot% – процентное содержание белка, %; Prot, kg – выход белка, кг; W10, kg – живая масса в 10 мес., кг; Wins, kg – живая масса при первом осеменении, кг; W1c, kg – живая масса после первого отела, кг; AFC, month – возраст первого отела, мес.; DO, days – сервис период, дн.; ICP, days – межотельный период, дн.; FI – индекс плодовитости.

Notes: Milk yield, kg – milk yield for 305 days, kg; Fat% – percentage of fat, %; Fat, kg – fat yield, kg; Prot% is the percentage of protein, %; Prot, kg – protein yield, kg; W10, kg – live weight per 10 months, kg; Wins, kg – live weight at first insemination, kg; W1c, kg – live weight after the first calving, kg; AFC, month – age of first calving, months; DO, days – service period, days; ICP, days – inter-hotel period, days; FI is the fecundity index.

Оценки EBV по показателю возраста первого отела (AFC) оказались ниже в группе с индексом $SI_{AYR} > 4000$ – AFC = -0,5 (Rel = 0,38), в группе $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ увеличилась до -0,2 (Rel = 0,38), и достигла значения -0,1 (Rel = 0,36) в группе $SI_{AYR} < 0$. Выявленная динамика является желательной, поскольку снижение возраста первого отела повышает эффективность производства. Оптимальная оценка сервис периода (DO) отмечена в группе $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ EBV = -0,6 (Rel = 0,27), в группе $SI_{AYR} > 4000$ оценка EBV = 3,9 (Rel = 0,27), что определяется отрицательной корреляцией с удоем, а в группе $SI_{AYR} < 0$ выявлено среднее значение оценки EBV = -0,4 (Rel = 0,25). Подобная тенденция изменения оценок отмечена и с межотельным периодом ICP, где среднее значение EBV = -0,2 (Rel = 0,25) в группе $SI_{AYR} < 0$, а в группе $SI_{AYR} > 4000$ EBV = 4,0 (Rel = 0,27). Однако увеличение индекса плодовитости FI от 0,1 до 0,2 в группах $SI_{AYR} > 4000$ и $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ по сравнению с группой $SI_{AYR} < 0$, указывает на положительные тенденции отбора по применяемому индексу.

В результате анализа абсолютной продуктивности коров в зависимости от группы SI_{AYR} установлено, что удой коров за 305 дней группы $SI_{AYR} > 4000$ составил 7324 кг, что достоверно выше на 773 и 960 кг ($p \leq 0,001$) по сравнению с группами $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ и $SI_{AYR} < 0$ соответственно (рисунок 1). Выход жира у коров из группы $SI_{AYR} > 4000$ находился на уровне 302,0 кг, выход белка – 242,5 кг, что также выше на 32,2 и 26,5 кг ($p \leq 0,001$) по сравнению с группой $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$, со значениями 269,8 и 216,1 кг и группой $SI_{AYR} < 0$ на 35,4 и 32,0 кг ($p \leq 0,001$) соответственно.

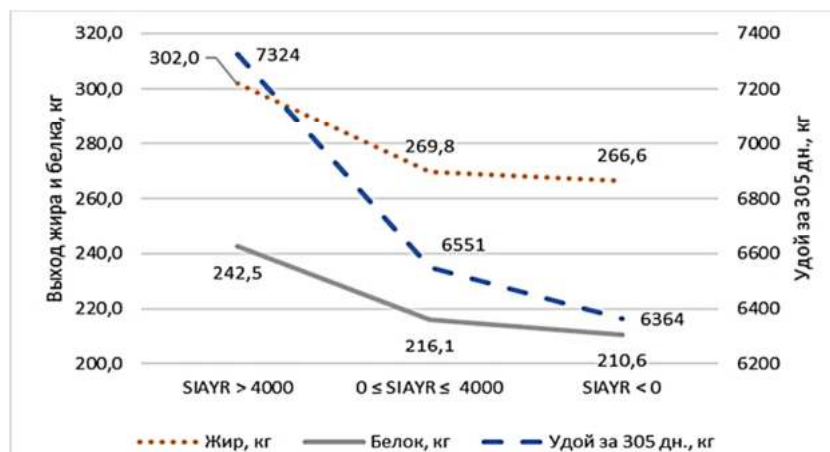


Рисунок 1 – Изменение признаков молочной продуктивности пробанда в зависимости от группы SI_{AYR}
Figure 1 – Changes in signs of milk productivity of the proband depending on the SI_{AYR} group

Для установления наиболее эффективных сочетаний индексной оценки SI_{AYR} и DI_{AYR} в различных селекционных группах коров проведен расчет селекционных дифференциалов и генетического сдвига. Степень превосходства изучаемых показателей у отобранных животных определена путем моделирования отбора с различной степенью интенсивности. В 10% отбор вошли животные при сочетаниях $SI_{AYR} > 4000$ и $DI_{AYR} > 4000$ ($n=2021$), $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ и $DI_{AYR} > 4000$ ($n=3086$), а также 1468 голов лучших по родительским индексам животных при сочетании $SI_{AYR} > 4000$ и $0 \leq DI_{AYR} \leq 4000$. При 30% отборе создана группа животных из всех сочетаний индекса $SI_{AYR} > 4000$ ($n=14619$), а так же животные из $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ с $DI_{AYR} > 4000$ ($n=3086$), $SI_{AYR} < 0$ и $DI_{AYR} > 4000$ ($n=1880$). Остальные животные (141 голова) отобраны из сочетания $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ и $0 \leq DI_{AYR} \leq 4000$. Для 70% отбора из выборки элиминированы животные ухудшатели по отцам и матерям ($SI_{AYR} < 0$ и $DI_{AYR} < 0$), а так же из сочетания $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$ и $DI_{AYR} < 0$ оставлены лучшие 2752 головы.

Установлено, что при селекционном давлении 70% прогнозируемый селекционный эффект по удою за поколение составил +124 кг (таблица 3). При увеличении давления до 30% эффект селекции возрастает более, чем в 2 раза и равен +280 кг ($p \leq 0,001$), а при 10% отборе коров в племенное ядро среднее значение удоя достигает $7797 \pm 15,3$ кг, с эффектом селекции +452 кг за поколение или +90 кг в год ($p \leq 0,001$). Несмотря на стагнацию показателей процентного содержания жира и белка, их количественное выражение имело достоверное увеличение SE при всех формах отбора от +4,1 до +15,8 кг ($p \leq 0,001$) по выходу жира и от +3,7 до +13,5 ($p \leq 0,001$) по выходу белка. Выявлен рост показателей развития животных с увеличением селекционного давления от 70% до 10% от $248 \pm 0,2$ до $260 \pm 0,4$ кг по живой массе в 10 месяцев, от $375 \pm 0,2$ до $381 \pm 0,4$ кг в 12 месяцев и от $504 \pm 0,2$ до $519 \pm 0,6$ кг при первом осеменении. Достоверные SE индекса плодовитости отмечены при 30% и 10% отборе, они составили 0,04 и 0,05 ($p \leq 0,001$) единиц индекса за поколение.

Сравнительный анализ показателей продуктивности отдельных селекционных групп, проведенный с помощью селекционных индексов, учитывающих комплекс признаков, позволил установить более ценные в селекционном отношении сочетания родительских пар. Для улучшения продуктивных качеств популяции на коровах с уровнем индекса $DI_{AYR} > 4000$ желательно закрепление быков, как с индексом $SI_{AYR} > 4000$, так и с $0 \leq SI_{AYR} \leq 4000$, тогда как при $0 \leq DI_{AYR} \leq 4000$ необходимо использовать быков $SI_{AYR} > 4000$. Группа $DI_{AYR} < 0$ не предназначена для совершенствования стада и, по возможности, должна быть исключена из селекционного процесса.

Таблица 3 – Показатели прогнозируемого эффекта селекции при интенсивности отбора 10%, 30% и 70%
Table 3 – Indicators of the predicted selection effect at selection intensity of 10%, 30% and 70%

Показатель / Index	h ²	10% (n=6575)			30% (n=19726)			70% (n=46027)		
		M ± m	SE gen	SE year	M ± m	SE gen	SE year	M ± m	SE gen	SE year
Milk yield, kg	0,40	7797±15,3	452 ^a	90 ^a	7366±9,1	280 ^a	56 ^a	6976±6,0	124 ^a	25 ^a
Fat%	0,23	4,12±0,003	0,00 ^a	0,00 ^a	4,13±0,002	0,00 ^a	0,00 ^a	4,12±0,001	0,00 ^a	0,00 ^a
Fat, kg	0,35	321,2±0,69	15,8 ^a	3,2 ^a	304,0±0,40	9,8 ^a	2,0 ^a	287,7±0,27	4,1 ^a	0,8 ^a
Prot%	0,28	3,29±0,002	0,00 ^a	0,00 ^a	3,31±0,001	0,00 ^a	0,00 ^a	3,29±0,001	0,00 ^a	0,00 ^a
Prot, kg	0,37	256,7±0,54	13,5 ^a	2,7 ^a	243,7±0,32	8,7 ^a	1,7 ^a	230,2±0,21	3,7 ^a	0,7 ^a
W10, kg	0,17	260±0,4	2,4 ^a	0,5 ^a	253±0,2	1,4 ^a	0,3 ^a	248±0,2	0,5 ^a	0,1 ^a
Wins, kg	0,20	381±0,4	1,4 ^a	0,3 ^a	378±0,2	0,9 ^a	0,2 ^a	375±0,2	0,4 ^a	0,1 ^a
W1c, kg	0,18	519±0,6	3,5 ^a	0,7 ^a	512±0,3	2,2 ^a	0,4 ^a	504±0,2	0,7 ^a	0,1 ^a
AFC, month	0,08	25,9±0,03	-0,1 ^a	0,0 ^a	26,2±0,02	0,0 ^a	0,0 ^a	26,6±0,01	0,0 ^a	0,0 ^a
DO, days	0,09	133±0,9	0,3 ^a	0,1 ^a	130±0,6	0,1	0,0	130±0,4	0,0	0,0
ICP, days	0,09	411±0,9	0,3 ^a	0,1 ^a	408±0,6	0,1	0,0	408±0,4	0,0	0,0
FI	0,09	47,1±0,07	0,05 ^a	0,01 ^a	47,0±0,04	0,04 ^a	0,01 ^a	46,7±0,03	0,01 ^b	0,00 ^b

Примечание: SE gen – эффект селекции за поколение; SE year – эффект селекции за год (^a – достоверно при p≤0,001, ^b – при p≤0,01).

Note: SE gen is the effect of selection per generation; SE year – selection effect per year (^a – significantly at p≤0.001, ^b – at p≤0.01).

Закключение. Установлены селекционные границы для рекомендуемого подбора родительских пар с применением индекса I_{AYR}. Для формирования племенного ядра стада наиболее эффективными сочетаниями явились SI_{AYR} > 4000 и DI_{AYR} > 4000, 0 ≤ SI_{AYR} ≤ 4000 и DI_{AYR} > 4000. Лучшие животные по племенным и продуктивным качествам могут быть использованы при планировании заказных спариваний и осеменении спермой особо ценных производителей.

Conclusions. A comparative analysis of the productivity indicators of individual selection groups, carried out using selection indices that take into account a complex of traits, made it possible to establish combinations of parental pairs that are more valuable in terms of selection. Selection boundaries have been established for the recommended selection of parental pairs using the I_{AYR} index. To form the breeding core of the herd, the most effective combinations were SI_{AYR} > 4000 and DI_{AYR} > 4000, 0 ≤ SI_{AYR} ≤ 4000 and DI_{AYR} > 4000. The best animals in terms of breeding and productive qualities can be used when planning custom matings and insemination with sperm of especially valuable sires.

Библиографический список

- Amaya A., Martínez R., Cerón-Muñoz M. Selection indexes using principal component analysis for reproductive, beef and milk traits in Simmental cattle. Trop Anim Health Prod. 2021. No 53 (3). 378 p.
- Salem M. M. I., Nasr M. A. F., Amin A. M. S. Principal component analysis of breeding values for birth weight milk and reproductive traits of the Egyptian buffalo. Trop Anim Health Prod. 2021. No 53 (1). 183 p.
- Иванова И. П., Юрченко Е. Н. Формирование селекционной группы коров на основе комплексного селекционного индекса. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (48). С. 124-131.
- Zhang X., Amer P. A new selection index percent emphasis method using subindex weights and genetic evaluation accuracy J. Dairy Sci. 2021. V. 104.
- Santos B. F. S., McHugh N., Byrne T. J., Berry D. P., Amer P. R., Comparison of breeding objectives across countries with application to sheep indexes in New Zealand and Ireland. J. Anim. Breed. Genet. 2015. V. 132. Pp. 144-154.
- Валитов Х. З., Карамаев С. В., Корнилова В. А., Лехмус В. А. Воспроизводительная способность и продуктивный индекс коров айрширской и голштинской пород. Главный зоотехник. 2019. № 10. С. 19-24.
- Смотрова Е. А. Оценка и отбор с использованием полифакторного индекса ИПК6 и учетом показателей воспроизводительных качеств коров. Генетика и разведение животных. 2018. № 1. С. 108-114.
- Тарчоков Т. Т., Айсанов З. М., Тлейншева М. Г., Шахмурзов М. М. Использование индексной селекции для повышения белкомолочности крупного рогатого скота. Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 4 (44). С. 60-65.
- Березовик Р. В., Храменко Н. М., Макаро Е. Р., Лощинин И. В. Преимущества оценки племенной ценности признаков молочной продуктивности крупного рогатого скота методом BLUP. Зоотехническая наука Беларуси. 2022. Т. 57. № 1. С. 4-14.
- Игнатьева Л. П., Сермягин А. А. Использование метода BLUP ANIMAL MODEL для оценки племенной ценности коров симментальской породы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4 (56). С. 188-194.
- Maugan L. H., Rostellato R., Tribout T., Mattalia S., Ducrocq V. Combined single-step evaluation of functional longevity of dairy cows including correlated traits. Genet Sel Evol. 2023. V. 55 (1). 75 p.
- Zhang M., Luo H., Xu L., Shi Y., Zhou J., Wang D., Zhang X., Huang X., Wang Y. Genomic Selection for Milk Production Traits in Xinjiang Brown Cattle. Animals (Basel). 2022. V. 12 (2). 136 p.

References

1. Amaya A., Martínez R., Cerón-Muñoz M. Selection indexes using principal component analysis for reproductive, beef and milk traits in Simmental cattle. *Trop Anim Health Prod.* 2021. No 53 (3). 378 p.
2. Salem M. M. I., Nasr M. A. F., Amin A. M. S. Principal component analysis of breeding values for birth weight milk and reproductive traits of the Egyptian buffalo. *Trop Anim Health Prod.* 2021. No 53 (1). 183 p.
3. Ivanova I. P., Yurchenko E. N. Formation of a Selection Group of Cows on the Basis of a Complex Selection Index. *Proceedings of the Omsk SAU.* 2022. № 4 (48). Pp. 124-131.
4. Zhang X., Amer P. A new selection index percent emphasis method using subindex weights and genetic evaluation accuracy *J. Dairy Sci.* 2021. V. 104.
5. Santos B. F. S., McHugh N., Byrne T. J., Berry D. P., Amer P. R., Comparison of breeding objectives across countries with application to sheep indexes in New Zealand and Ireland. *J. Anim. Breed. Genet.* 2015. V. 132. Pp. 144-154.
6. Valitov Kh. Z., Karamaev S. V., Kornilova V. A., Lekhmus V. A. Reproductive Capacity and Productive Index of Ayrshire and Holstein Cows. *Chief Zootechnician.* 2019. № 10. Pp. 19-24.
7. Smotrova E. A. Evaluation and Selection Using the Polyfactor Index IPK6 and Taking into Account the Indicators of Reproductive Qualities of Cows. *Genetics and animal breeding.* 2018. № 1. Pp. 108-114.
8. Tarchokov T. T., Aisanov Z. M., Tleinsheva M. G., Shakhmurzov M. M. Use of Index Selection to Increase Protein Milk Production of Cattle. *Bulletin of the Kurgan GSHA.* 2022. № 4 (44). Pp. 60-65.
9. Berezovik R. V., Khranchenko N. M., Makaro E. R., Loshchinin I. V. Advantages of Breeding Value Assessment of Dairy Productivity Traits in Cattle by the BLUP Method. *Zootechnical Science of Belarus.* 2022. V. 57. № 1. Pp. 4-14.
10. Ignatieva L. P., Semyagin A. A. Use of the BLUP ANIMAL MODEL method for estimating the breeding value of Simmental cows. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2021. № 4 (56). Pp. 188-194.
11. Maugan L. H., Rostellato R., Tribout T., Mattalia S., Ducrocq V. Combined single-step evaluation of functional longevity of dairy cows including correlated traits. *Genet Sel Evol.* 2023. V. 55 (1). 75 p.
12. Zhang M., Luo H., Xu L., Shi Y., Zhou J., Wang D., Zhang X., Huang X., Wang Y. Genomic Selection for Milk Production Traits in Xinjiang Brown Cattle. *Animals (Basel).* 2022. V. 12 (2). 136 p.

Информация об авторах

Романова Елена Анатольевна, младший научный сотрудник лаборатории генетики и разведения крупного рогатого скота Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 196625, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Московское шоссе, д. 55а), e-mail: splicing86@gmail.com

Тулинова Ольга Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и разведения крупного рогатого скота Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 196625, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Московское шоссе, д. 55а), e-mail: tulinova_59@mail.ru

Author's Information

Romanova Elena Anatolevna, Junior Researcher, Laboratory of Genetics and Breeding of Cattle, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Animal Husbandry – named after Academician L. K. Ernst" (Russian Federation, 196625, St. Petersburg, Tyarlevo village, Moskovskoe shosse, 55a), e-mail: splicing86@gmail.com

Tulinova Olga Vasilevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Genetics and Breeding of Cattle of the All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Animal Husbandry – named after Academician L.K. Ernst" (196625, Russia, 196625, St. Petersburg, Tyarlevo village, Moskovskoe shosse, 55a), e-mail: tulinova_59@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-34

THE EFFECTIVENESS OF THE INFLUENCE OF PRE-INCUBATION TREATMENT OF EGGS OF DIFFERENT SHELF LIFE ON THE PROCESSES OF INCUBATION AND EARLY FEEDING OF BROILER CHICKENS OF THE ROSS-308 CROSS DURING MEAT PRODUCTION

Abramenko E. G., Gorlov I. F., Komarova Z. B., Rudkovskaya A. V., Mosolov A. A., Slozhenkina M. I.

*Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 10.04.2024

Submitted 20.05.2024

Abstract

Introduction. Federal scientific and technical program for the development of agriculture for 2017-2025. provision is made for the replacement of chemical antimicrobial drugs, which accumulate in the environment and pose a threat to human health, with alternative ones made from natural, environmentally friendly components. In this regard, in industrial poultry farming, where disinfectants and bacterial preparations are used to disinfect air, hatching eggs and poultry equipment, environmentally friendly preparations of the latest generation with a wide spectrum of action, which are successfully used in poultry feeding, are of particular interest. Increasing the hatchability of hatching eggs ensures not only the hatching of a larger number of conditioned daily young animals at a lower cost, but also provides higher profits based on the results of fattening broilers. Therefore, to stimulate the

embryonic development of the embryo and increase the hatching of chickens, we used a new method of preliminary incubation treatment of eggs of different shelf life with lactic acid as an alternative to formaldehyde fumes, and for early feeding of chickens at hatching, a prebiotic water-soluble additive "LactuSuper", which contains natural biologically active substances. and, which is an effective means of correcting dysbiosis, helps to normalize microbiological processes in the digestive tract, increase the intensity of growth and productivity of poultry. **Object.** The objects of research are hatching eggs and broiler chickens of the Ross 308 cross. **Materials and methods.** The studies were carried out on the basis of Mega Yurma LLC, Cheboksary district of the Republic of Chuvashia, on 5 groups of hatching eggs of different shelf life, 5184 pieces each, and day-old chicks, 150 heads each. Eggs from the experimental groups were disinfected with lactic acid (20% solution), and eggs from the control groups were disinfected with formaldehyde vapor according to the standard procedure. Chickens of experimental groups I and III received early feeding with the prebiotic feed additive "LaktuVet" at hatching (0.5% solution). Accounting for zootechnical and economic indicators was carried out according to approved methods used at large poultry enterprises. **Results and conclusions.** Pre-incubation disinfection of eggs of different shelf life with a 20% lactic acid solution contributed to an increase in the hatching of chickens: in experimental group I (5 days of storage) – by 2.44% compared to the control (1), in experimental groups II and III (10 days of storage) – by 1.02 and 2.45% compared to control (2). At the same time, increasing the shelf life of hatching eggs to 10 days is not critical and is quite acceptable for incubation in industrial conditions for the production of broiler meat. Early feeding of chickens of the I and III experimental groups with a 0.5% solution of the drug "LactuSuper" directly in the hatcher trays using the cold fog method resulted in a predominance in live weight of broiler chickens of the I experimental group over the control (1) by 112.8 g (5.58%; $P \leq 0.001$), and III experimental – by 111.3 g (5.54; $P \leq 0.001$) above the control (2). Based on the results of a production test, the total economic efficiency of the influence of lactic acid on the hatching of chickens and their early feeding on the formation of meat productivity was determined. An increase in the level of profitability in the experimental group was established by 15.34%.

Keywords: hatching eggs, broiler chickens, lactic acid, LactuSuper additive, incubation results, meat productivity of broiler chickens.

Citation. Abramenko E. G., Gorlov I. F., Komarova Z. B., Rudkovskaya A. V., Mosolov A. A., Slozhenkina M. I. The effectiveness of the influence of pre-incubation treatment of eggs of different shelf life on the processes of incubation and early feeding of broiler chickens of the Ross-308 cross during meat production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74). 291-301 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-34.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, or 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 636.5.082.474

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВОКУПНОГО ВЛИЯНИЯ ПРЕДЫНКУБАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЯИЦ РАЗЛИЧНОГО СРОКА ХРАНЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ИНКУБАЦИИ И РАННЕЙ ПОДКОРМКИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ КРОССА «РОСС-308» ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЯСА

Абраменко Е. Г., соискатель

Горлов И. Ф., академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук

Комарова З. Б., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Рудковская А. В., кандидат биологических наук

Мосолов А. А., доктор биологических наук

Сложенкина М. И., доктор биологических наук, член-корреспондент РАН

ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках гранта РНФ 22-16-00041, ГНУ НИИММП

Актуальность. Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. предусмотрена замена химических антимикробных препаратов, которые, накапливаясь в окружающей среде, создают угрозу здоровью человечества, альтернативными, из природных экологически чистых компонентов. В этой связи в промышленном птицеводстве, где для дезинфекции воздуха, инкубационных яиц и птицеводческого оборудования используют дезинфицирующие и бактериальные препараты, особый интерес вызывают экологически чистые препараты последнего поколения широкого спектра действия, успешно применяемые и в кормлении птицы. Повышение выводимости инкубационных яиц обеспечивает не только вывод большего количества кондиционного суточного молодняка по более низкой себестоимости, но и по итогам откорма бройлеров обеспечивает более высокую прибыль. Поэтому для стимуляции эмбрионального развития зародыша и повышения вывода цыплят нами использован новый способ предварительной инкубационной обработки яиц разного срока хранения молочной кислотой в альтернативу парам формальдегида, а для ранней подкормки цыплят на выводе пребиотическую

водорастворимую добавку «ЛактуСупер», которая в основе содержит натуральные биологически активные вещества и которая является эффективным средством коррекции дисбактериоза, способствует нормализации микробиологических процессов в пищеварительном тракте, повышению интенсивности роста и продуктивности птицы. **Объект.** Объектом исследований являются инкубационные яйца и цыплята-бройлеры кросса Росс 308. **Материалы и методы.** Исследования выполнены на базе ООО «Мега Юрма» Чебоксарского района Республики Чувашия на 5 группах инкубационных яиц разного срока хранения, по 5184 штук и суточных цыплят, по 150 голов в каждой. Яйца опытных групп дезинфицировали молочной кислотой (20% раствор), а контрольных – парами формальдегида по стандартной схеме. Цыплята I и III опытных групп получали раннюю подкормку кормовой пребиотической добавкой «ЛактуВет» на выводе (0,5% раствор). Учет зоотехнических и экономических показателей проводили по утвержденным методикам, применяемым на крупных птицеводческих предприятиях. **Результаты и выводы.** Предынкубационная дезинфекция яиц разного срока хранения 20% раствором молочной кислоты способствовала повышению вывода цыплят: в I опытной группе (5 суток хранения) – на 2,44% сравнительно с контролем (1), во II и III опытных группах (10 суток хранения) – на 1,02 и 2,45% по сравнению с контролем (2). При этом увеличение срока хранения инкубационных яиц до 10 суток, не является критическим и вполне приемлемым для инкубации в промышленных условиях производства мяса бройлеров. Ранняя подкормка цыплят I и III опытных групп 0,5% раствором препарата «ЛактуСупер» непосредственно в выводных лотках методом холодного тумана обусловила превалирование по живой массе цыплят-бройлеров I опытной группы над контролем (1) на 112,8 г (5,58%; $P \leq 0,001$), а III опытной – на 111,3 г (5,54%; $P \leq 0,001$) над контролем (2). По результатам производственной проверки была определена совокупная экономическая эффективность влияния молочной кислоты на вывод цыплят и их ранней подкормки на формирование мясной продуктивности. Установлен рост уровня рентабельности в опытной группе на 15,34%.

Ключевые слова: инкубационные яйца, цыплята-бройлеры, молочная кислота, добавка «ЛактуСупер», результаты инкубации, мясная продуктивность цыплят-бройлеров.

Цитирование. Абраменко Е. Г., Горлов И. Ф., Комарова З. Б., Рудковская А. В., Мосолов А. А., Сложеникина М. И. Эффективность совокупного влияния предынкубационной обработки яиц различного срока хранения на процессы инкубации и ранней подкормки цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» при производстве мяса. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 291-301. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-34. **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. Одной из задач безопасности страны является обеспечение продовольствием отечественного производства её населения, особенно в условиях санкций недружественных стран. Птицеводство как отрасль является модернизированным, высокоэффективным производством, обеспечивающим 45% потребности в животном белке (яйца, мясо), причем гораздо дешевле, чем говядина и свинина [11].

Однако основные ведущие племенные центры, репродукторы I и II порядка лучших мясных кроссов «Росс-308», «Акрес Плюс», «Кобб-500» расположены на территории США и Европы и российское птицеводство для комплектования родительских стад вынуждено закупать племенной материал (инкубационные яйца или суточный молодняк) за рубежом. До 90% мясное птицеводство сосредоточено в крупных агропромышленных холдингах, осуществляющих полный производственный цикл, и для них немаловажное значение имеет поиск факторов, способствующих повышению качества инкубационных яиц, жизнеспособности эмбриона на различных стадиях онтогенеза, мясной продуктивности цыплят при откорме.

Одним из главных лимитирующих факторов непрерывного производства мяса бройлеров является недостаток инкубационных яиц для воспроизводства в оптимальные сроки инкубации после снесения, поэтому часто используют более длительные сроки хранения инкубационных яиц для формирования крупной партии с целью получения одновозрастных цыплят. В то же время повышение длительности хранения яиц, в особенности от кур в начале и в конце яйцекладки, обуславливает снижение вывода и качества суточного молодняка [2, 3, 4, 10].

Во-вторых, не менее важное влияние на вывод кондиционных цыплят имеет предынкубационная дезинфекция яиц. Известно, что практически на всех производственных птицеводческих предприятиях в качестве дезинфектанта яиц используют в основном пары формальдегида, которые, помимо высоких дезинфицирующих свойств, оказывают негативное воздействие как на обслуживающий персонал, так и на развитие эмбриона. По этой причине ищутся альтернативные препараты, обладающие высокими дезинфицирующими свойствами и в тоже время безвредными для эмбрионов [1, 5, 9, 12].

В-третьих, период от окончания эмбрионального развития цыплят до первого кормления составляет несколько дней (48-72 часа), что является критическим периодом для развития желудочно-кишечного тракта и формирования иммунной системы домашней птицы [7]. В последние годы стратегии раннего питания, непосредственно после вылупления, были предложены и реализованы в качестве альтернативы для преодоления недостатков отсроченного питания для здоровья и продуктивности цыплят [6]. Более того, чем позже начинается экзогенное кормление, тем ниже эффективность усвоения желтка новорожденными цыплятами и тем хуже рост и развитие в период поглощения желтка, что в конечном итоге влияет на ростовой гомеостаз организма [8]. Одной из стратегий раннего питания является кормление цыплят в инкубаторе, в выводных шкафах [13].

В связи с этим целью научно-хозяйственного опыта, явилось изучение эффективности влияния обработки поверхности яиц разных сроков хранения (до 10 дней) молочной кислотой на результаты инкубации, в сочетании с ранней подкормкой цыплят в выводных шкафах пребиотической кормовой добавкой «ЛактуСупер», на жизнеспособность, мясную продуктивность цыплят-бройлеров и экономическую эффективность производства мяса.

Материалы и методы. В рамках научно-хозяйственного опыта инкубирование подопытных яиц проводили в инкубатории ООО «Мега Юрма» Чебоксарского района Республики Чувашия, который оборудован высокотехнологичным оборудованием компании Chick Master (США) согласно схеме (таблица 1).

Таблица 1 – Дизайн научно-хозяйственного опыта
Table 1 – Design of scientific and economic experience

Группы / Group	Срок хранения яиц, дни / Shelf life of eggs, days	Характер обработки инкубационных яиц и подкормки цыплят / The nature of processing hatching eggs and feeding chicks
Контрольная (1) / Control (1)	5	Яйца – пары формальдегида / Formaldehyde vapour – eggs
		Цыплята – без подкормки / Chickens – without feeding
I опытная / I experienced	5	Яйца – 20% раствор молочной кислоты / Eggs – 20% lactic acid solution
		Цыплята – 0,5% раствор препарата «ЛактуСупер» / Chickens – 0.5% solution of LactuSuper
Контрольная (2) / Control (2)	10	Яйца – пары формальдегида / Formaldehyde vapour – eggs
		Цыплята – без подкормки / Chickens – without feeding
II опытная / II experienced	10	20% раствор молочной кислоты / 20% lactic acid solution
		Цыплята – без подкормки / Chickens – without feeding
III опытная / III experienced	10	20% раствор молочной кислоты / 20% lactic acid solution
		Цыплята – 0,5% раствор препарата «ЛактуСупер» / Chickens – 0.5% solution of LactuSuper

Яйца контрольных групп (1,2) хранили 5 и 10 суток, где дезинфекцию поверхности скорлупы, на разных этапах хранения яиц, проводили двукратно парами формальдегида из расчета на 1м³ объема камеры 30 мл формалина, 15 мл воды и 20 г марганцовокислого калия. Яйца I опытной группы, срок хранения 5 суток, II и III опытных групп, срок хранения 10 суток, обеззараживали в дезкамере сразу после поступления на склад и перед инкубированием микрочастицами 20%-ного раствора молочной кислоты, методом холодного тумана.

По завершении инкубации вылупившиеся цыплята I и III опытных групп получили раннюю подкормку 0,5%-ным раствором пребиотической добавки «ЛактуСупер», в лотках выводных шкафов, путем распыления методом холодного тумана. Для дальнейшего откорма были сформированы пять групп суточных цыплят-бройлеров по 150 голов в каждой группе, полученных из подопытных яиц в результате инкубации. Цыплята подопытных групп были размещены в клеточное оборудование марки ТЕХНА. Плотность посадки соответствовала рекомендованной для бройлеров кросса «Росс-308», параметры микроклимата – технологическим нормативам. Кормление также было одинаковым для всех подопытных групп. Комбикорма соответствующей питательности вырабатывались на комбикормовом заводе птицефабрики.

Биологический контроль за развитием эмбрионов и взвешивание контрольных лотков проводили на 7,5; 12,5 и 18,5 сутки при переводе в выводные шкафы (Рекомендации ВНИТИП, 2017). Учет зоотехнических и экономических показателей проводили по утвержденным методикам, применяемым в крупных птицеводческих предприятиях.

Цифровой материал, полученный по итогам опытов, подвергнут математической обработке (вариационная статистика) с применением универсальной программы «Excel», с учетом критериев достоверности разницы изучаемых показателей.

Результаты и обсуждение. Инкубация яиц отображает технологический процесс воспроизводства птиц, результаты которой находятся в прямой зависимости от качества племенных яиц.

Показатели инкубации яиц подопытных групп с момента закладки и до вывода отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели инкубации яиц экспериментальных групп
Table 2 – Indicators of incubation of eggs of experimental groups

Показатели / Indicators	Группы / Group				
	Контроль / Control (1)	I опытная / experienced	Контроль / Control (2)	II опытная / experienced	III опытная / experienced
Время хранения яиц, сутки / Egg storage time, day	5	5	10	10	10
Дезинфекция яиц / Disinfection of eggs	пары формальдегида / Formaldehyde vapors	20% молочной кислоты / 20% lactic acid	пары формальдегида / Formaldehyde vapors	20% молочной кислоты / 20% lactic acid	20% молочной кислоты / 20% lactic acid
Подкормка цыплят «ЛактуСупер», % / Feeding chickens with LactuSuper, %	–	0,5	-	-	0,5
Масса яиц, г / Egg weight, g	62,14±0,37	62,09±0,42	61,57±0,47	61,85±0,34	61,88±0,41
Усушка яиц: на 12,5 сутки инкубации, % / Egg shrinkage: on the 12.5th day of incubation, %	7,26±0,07	7,19±0,09	7,57±0,10	7,48±0,08	7,49±0,09
на 18,5 сутки инкубации, % / on the 18.5th day of incubation, %	13,46±0,15	13,24±0,17	14,19±0,21	14,03 ±0,19*	14,05±0,20*
Заложено яиц, шт. / Eggs laid, pcs.	5184	5184	5184	5184	5184
Количество яиц для биологического контроля, шт. / Number of eggs for biological control, pcs.	486	486	486	486	486
Оплодотворенность яиц, % / Egg fertilization, %	93,21	93,21	93,21	93,21	93,21
Истинный неоплод, % / True infertility, %	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79
Ложный неоплод (РЭС), % / False infertility (RES), %	0,82	0,62	0,82	0,82	0,82
Кровь-кольцо, % / Ring Blood, %	2,67	2,47	2,88	2,47	2,47
Бой, насечка, % / Strike, notch, %	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Замершие, % / Frozen, %	4,73	3,91	5,14	4,73	4,12
Задохлики, % / Suffocation, %	3,70	3,09	3,91	3,91	3,09
Калеки, слабые, при выборке, % / Crippled, weak, in sampling, %	0,82	0,62	0,82	0,62	0,62
Выводимость яиц, % / Egg hatchability, %	85,89	88,51	84,99	86,09	87,62
Вывод кондиционных цыплят, % / Hatching of conditioned chicks, %	80,06	82,50	79,23	80,25	81,68
Вывод кондиционных цыплят, гол. / Hatching of conditioned chickens, goal	4150	4277	4107	4160	4234

Идентичная масса яиц экспериментальных групп 5-ти дневного срока хранения обусловлена одинаковыми условиями кормления и содержания одновозрастных кур родительского поголовья. Масса яиц после 10-ти дней хранения несколько снизилась в контроле (2) на 0,93%, а во II и III опытных группах на 0,47 и 0,42% за счет потери влаги.

Усушка яиц на 12,5 сутки инкубации в I опытной группе, где срок хранения яиц был идентичным с контролем (1), процесс усушки протекал медленнее на 0,17% за счет предынкубационной обработки молочной кислотой на фоне формальдегида в контроле. Во II и III опытных группах усушка яиц за этот период была практически одинаковой, но превышала контроль (1) на 0,22 и 0,23%, что связано с более длительным сроком хранения яиц в опытных группах (10 дней), но при этом ниже, чем в контроле (2). На 18,5 сутки инкубации процесс потери влаги яиц в I опытной группе протекал медленнее, чем в контроле (1), на 0,22%, в то время как во II и III опытных группах зафиксировано увеличение данного показателя относительно контроля (1) на 0,57% ($P \leq 0,05$) и 0,61% ($P \leq 0,05$), а относительно контроля (2) снижение на 0,16 и 0,14%.

Оплодотворенность яиц во всех подопытных группах оказалась высокой и составила 93,21%. Анализ отходов инкубации по результатам биологического контроля выявил позитивное влияние нового метода дезинфекции яиц молочной кислотой при идентичных условиях хранения в течение 5 суток. Зафиксировано снижение гибели эмбрионов на ранней стадии и «кровь-кольцо» в I опытной группе на 0,40%, замерших – на 0,82%, задохликов – на 0,61% относительно контроля (1). Вывод здоровых цыплят увеличился в этой группе на 2,44%, а выводимость яиц – на 2,62%, в итоге в I опытной группе было получено на 127 кондиционных цыплят больше, чем в контроле (1).

После 10 дней хранения в контроле (2) по сравнению с контролем (1) ранняя эмбриональная смертность и «кровь-кольцо» увеличились на 0,21%, замерших и задохликов – на 0,62%. В результате вывод цыплят снизился на 0,83%, а выводимость яиц на 0,90%, составив при этом 79,23 и 84,99%. Во II и III опытных группах результаты биологического контроля выявили снижение гибели эмбрионов на всех стадиях развития относительно контроля (2): вывод цыплят возрос на 1,02 и 2,45%, а выводимость яиц на – 1,10 и 2,63% соответственно.

Улучшение показателей инкубации яиц в опытных группах как после 5-ти (I опытная группа), так и 10-ти дней хранения (II, III опытные группы), относительно контроля (1) и контроля (2), по нашему мнению, связано с обработкой яиц в период хранения и перед инкубацией микрочастицами холодного тумана 20% раствора молочной кислоты, взамен паров формальдегида в контрольных группах. Известно, что формальдегид, попадая в подскорлупную оболочку яиц во время предынкубационной обработки, может губительно действовать на эмбрион в начале инкубации.

Наши выводы о негативном воздействии паров формальдегида на качество инкубационного процесса согласуются с ранее полученными результатами исследований других авторов [5, 12].

По итогам инкубации можно сделать вывод, что обработка инкубационных яиц микрочастицами холодного тумана 20% раствора молочной кислоты является более безопасным и экологическим чистым методом по сравнению с парами формальдегида. При этом необходимо отметить, что увеличение срока хранения инкубационных яиц до 10 суток не является критическим и вполне приемлемым для инкубации в промышленных условиях производства мяса бройлеров.

Согласно схеме опыта, была проведена ранняя подкормка суточных цыплят в I и III опытных группах – 0,5% раствором препарата «ЛактуСупер», непосредственно в выводных лотках методом холодного тумана с целью повысить качество суточного молодняка при выращивании. Для откорма были сформированы пять групп суточных цыплят-бройлеров по 150 голов в каждой группе, полученных из подопытных яиц в результате инкубации.

Результаты откорма цыплят-бройлеров (1-35 дней) отражены в таблице 3.

Откорм цыплят-бройлеров до 35-ти дневного возраста позволил установить, что разница по живой массе между контролем (1), 5 суток хранения и контролем (2), 10 суток хранения была незначительной, то есть кондиционные суточные цыплята, полученные в предыдущем опыте, росли и развивались в пределах нормативных значений кросса «Росс-308». Как уже отмечалось, срок хранения инкубационных яиц повлиял на вывод цыплят, а живая масса при откорме оказалась практически идентичной. При этом в опытных группах, где использовали альтернативный метод дезинфекции инкубационных яиц (молочная кислота, вместо паров формальдегида), а в I и III опытных группах дополнительно применили раннее кормление цыплят на выводе пребиотическим препаратом «ЛактуСупер», живая

масса бройлеров значительно превышала контрольные значения. Превалирование по живой массе цыплят-бройлеров I опытной группы над контролем (1) составило, за период откорма, 112,8 г (5,58%; $P \leq 0,001$). Следует отметить, что достоверная разница по живой массе была установлена в этой группе уже после 7-ми дней откорма – 4,2 г (2,35%; $P \leq 0,05$), после 14-ти дней разница возросла на 39,6 г (8,96%; $P \leq 0,01$), после 21 дня – 49,7 г (5,63%; $P \leq 0,01$, после 28 дней – 77,1 (5,51%; $P \leq 0,01$).

Таблица 3 – Оценка живой массы и сопутствующих параметров выращивания цыплят-бройлеров (n=150)

Table 3 – Assessment of live weight and related parameters of growing broiler chickens (n=150)

Показатели / Indicators	Группы / Group				
	контроль (1) / control	I опытная / Experienced	контроль (2) / control	II опытная / Experienced	III опытная / Experienced
Живая масса, г: 0 дней / Live weight, g: 0 days	41,7±0,07	41,9±0,09	41,5±0,05	41,7±0,06	41,8±0,08
7 дней / 7 days	178,5±1,42	182,7±1,33*	177,9±1,51	180,2±1,49	181,6±1,57
14 дней / 14 days	441,8±9,79	481,4±8,88**	440,7±9,56	464,7±6,37	479,5±7,64**
21 день / 21 days	883,4±11,27	933,1±12,51**	879,6±11,31	910,8±10,42	929,3±11,68**
28 дней / 28 days	1400,1±16,95	1477,2±17,32**	1391,6±16,25	1445,7±12,51*	1469,5±15,64**
35 дней / 35 days	2021,5±17,89	2134,3±18,25***	2009,6±17,37	2084,7±16,13**	2120,9±19,08***
Конверсия корма, г / Feed conversion, g	1,59	1,53	1,59	1,56	1,54
Сохранность поголовья за период опыта, % / Livestock safety for the period of the experiment, %	98,00	99,33	98,00	98,67	99,33
ЕИЭ – Европейский индекс эффективности / EPI – European Performance Index	355,99	395,90	353,89	376,74	390,85

У цыплят III опытной группы превышение по живой массе над контролем (2) наблюдалось на всем протяжении выращивания, но достоверная разница установлена после 14-ти дней откорма – 38,8 г (8,80%; $P \leq 0,01$), после 21 дня – 49,7 г (5,65%; $P \leq 0,01$), после 28 дней – 77,9 г (5,60%; $P \leq 0,01$), а в конце откорма разница увеличилась до 111,3 г (5,54; $P \leq 0,001$). Исходя из этого можно констатировать, что подкормка цыплят на выводе пребиотической добавкой в комплексе с обработкой инкубационных яиц новым препаратом позитивно повлияла на прирост живой массы в период выращивания, который практически не зависел от срока хранения яиц перед инкубацией. Следовательно хранение яиц в течение 10 дней перед инкубацией не является критическим.

Во II опытной группе, где суточный молодняк не получал раннюю подкормку, живая масса оказалась значительно ниже, чем в I и III опытных группах, но все же превышала контроль (2). Достоверная разница по этому показателю была достигнута после 28 дней откорма, которая составила 54,1 г (3,89%; $P \leq 0,05$), а по завершении откорма (35 дней) – 75,1 г (3,74%; $P \leq 0,01$).

Более интенсивный прирост живой массы птиц положительно повлиял на конверсию корма в опытных группах: в I опытной группе затраты корма на 1 кг прироста сократились, по отношению к контролю (1) на 0,06 кг, во II и III опытных – на 0,03 и 0,05 кг относительно контроля (2). Отмечена высокая сохранность поголовья во всех подопытных группах: в I и III опытных группах этот показатель находился на уровне 99,33, во II опытной – 98,67, а в обеих контрольных группах – 98,0%. ЕИЭ – европейский индекс эффективности (соотношение полезного результата и затрат на производственный процесс) показал высокие значения во всех подопытных группах, однако зафиксировано превосходство данного показателя в опытных группах: в I опытной группе превышение над контролем (1) составило 39,91, а во II и III опытных – 22,85 и 36,96 единиц над контролем (2).

Мониторинг роста и развития подопытных цыплят-бройлеров позволил установить положительное действие обработки инкубационных яиц разного срока хранения альтернативным дезинфектантом (молочная кислота) и в комплексе с ранней подкормкой суточных цыплят на выводе пребиотической добавкой. Установлено также, что срок хранения яиц от 5 дней (контроль 1) до 10 дней (контроль 2) не оказал существенного влияния на снижение показателей откорма цыплят и при необходимости может быть использован в производственных условиях для получения более крупной партии инкубационных яиц.

Поскольку наш научно-хозяйственный опыт состоял из двух этапов, мы прежде всего рассчитали экономическую эффективность результатов инкубации.

В зависимости от количества полученных цыплят и стоимости используемых препаратов уровень рентабельности оказался различным во всех подопытных группах. Разница по этому показателю между контролем (1) и (2) составила 1,26% в пользу (1), а между I опытной группой и контролем (1) – 5,74%, между II, III опытными и контролем (2) – 3,53 и 5,73% соответственно. Уровень рентабельности в контроле (1) составил 21,36%, в контроле (2) – 20,10%, в I опытной группе – 27,10%, во II опытной – 23,63, в III опытной – 25,83%.

В связи с тем что для выращивания были использованы не все полученные в предыдущем опыте цыплята-бройлеры, а только по 150 голов из каждой группы, возникла необходимость рассчитать экономическую эффективность результатов их откорма.

В опытных группах получено мяса больше по причине более интенсивного прироста живой массы в период откорма и убойного выхода потрошенных тушек: в I опытной группе относительно контроля (1) на 17422,2 кг, во II и III опытных группах – на 11546,3 и 17294,3 кг по сравнению с контролем (2), что предопределило снижение себестоимости единицы продукции: в I опытной – на 4,13 рубля по сравнению с контролем (1), во II и III опытных – на 3,05 и 3,52 рубля по сравнению с контролем (2). За счет повышения убойного выхода в опытных группах увеличился выход тушек I сорта, ввиду чего возросла в этих группах и реализационная цена мяса. Исходя из этого уровень рентабельности в I опытной группе превысил контроль (1) на 8,02%, а во II и III опытных – на 5,56 и 7,27% контроль (2). Необходимо подчеркнуть, что уровень рентабельности, полученный во II и III опытных группах, превышал этот показатель контроля (1) на 4,24 и 5,95%, из чего следует, что ранняя подкормка цыплят в выводных шкафах способствует не только активизации обменных процессов, формированию мясной продуктивности, но и увеличению рентабельности производства мяса.

Исходя из того что результаты научно-хозяйственного опыта продемонстрировали незначительную разницу между контролем (1) и контролем (2), можно сделать вывод, что срок хранения яиц перед инкубацией до 10 суток не является критичным и не требует производственной проверки. Во II опытной группе, где испытывали действие молочной кислоты, в качестве дезинфектанта поверхности инкубационных яиц, полученные результаты по многим показателям превышали как контроль (1), так и (2), но уступали I и III опытным группам, где дополнительно цыплята на выводе получили раннюю подкормку в виде кормовой добавки «ЛактуСупер», также не требует производственных испытаний. Поскольку как зоотехнические, так и экономические показатели в I и III опытных группах оказались практически идентичными, то для производственной проверки были выбраны I опытная группа и контроль (1).

По результатам производственной проверки была определена совокупная экономическая эффективность влияния молочной кислоты на вывод цыплят и их ранней подкормки на формирование мясной продуктивности. Уровень рентабельности рассчитывали по фактическим производственным затратам, сложившимся в хозяйстве (таблица 4).

При равном количестве заложенных яиц на инкубацию в новом варианте выведено суточных цыплят на 914 голов или 2,49% больше. В результате откорма совокупная себестоимость мяса в опытном варианте снизилась по сравнению с контрольным на 6,89 рублей по причине получения дополнительного прироста живой массы и повышения конверсии корма, а реализационная стоимость мяса возросла на 4,70 рубля за счет увеличения количества тушек I сорта и, как итог, уровень рентабельности повысился на 15,34%.

Таблица 4 – Совокупная экономическая эффективность
Table 4 – Total economic efficiency

Показатель / Index	Варианты / Options	
	Базовый / Base	Новый / New
Заложено яиц, шт. / Eggs laid, pcs.	36288	36288
Стоимость инкубационных яиц, включая затраты на инкубацию, тыс. руб. / Cost of hatching eggs, including incubation costs, thousand rubles	706,16	706,16
Стоимость препаратов, тыс. руб. / Cost of drugs, thousand rubles	11,76	0,27
Всего затрат, руб. / Total costs, RUB	717,92	706,43
Выведено суточных цыплят, голов / Day-old chicks, heads bred	29114	30028
Стоимость кормов, тыс. руб. / Cost of feed, thousand rubles	3221,99	3345,54
Производственные затраты, всего, тыс. руб. / Production costs, total, thousand rubles	3939,92	4051,97
Получено всего прироста живой массы, т / Total increase in live weight, t	56,08	61,34
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	71,6	72,4
Получено мяса всего, т / Total meat obtained, t	40,15	44,41
в т.ч. I сорта / incl. Grade I	30,07	33,89
Себестоимость 1 кг мяса, руб. / Cost of 1 kg of meat, rubles	98,13	91,24
Реализационная цена 1 кг мяса, руб. / Selling price of 1 kg of meat, rubles	128,45	133,15
Выручка от реализации, тыс. руб. / Sales revenue, thousand rubles	5145,22	5913,19
Прибыль, тыс. руб. / Profit, thousand rubles	1205,3	1861,22
Рентабельность, % / Profitability, %	30,59	45,93

Выводы. Результаты исследований позволили сделать следующие выводы: увеличение срока хранения инкубационных яиц до 10 суток, не является критическим и вполне приемлемым для инкубации в промышленных условиях для получения одновозрастной партии суточных цыплят-бройлеров; молочная кислота, в качестве альтернативного дезинфектанта инкубационных яиц парам формальдегида, обладает высокими антибактериальными свойствами и оказывает позитивное воздействие на эмбриогенез; ранняя подкормка цыплят на выводе пребиотической добавкой «ЛактуСупер» способствует более эффективному формированию мясной продуктивности цыплят-бройлеров на откорме. Совокупное использование изучаемых препаратов позволяет увеличить рентабельность производства мяса на 15,34% на фоне контроля.

Conclusions. The research results allowed us to draw the following conclusions: increasing the shelf life of hatching eggs to 10 days is not critical and is quite acceptable for incubation in industrial conditions to obtain a same-age batch of day-old broiler chickens; lactic acid, as an alternative disinfectant for hatching eggs to formaldehyde vapor, has high antibacterial properties and has a positive effect on embryogenesis; Early feeding of hatching chickens with the prebiotic additive "LactuSuper" contributes to a more effective formation of meat productivity in fattening broiler chickens. The combined use of the studied drugs makes it possible to increase the profitability of meat production by 15.34% against the background of control.

Библиографический список

1. Цыганков Е. М., Мельникова А. А., Казмирова Т. А. Влияние дезинфицирующих средств на предынкубационную обработку яиц в целях повышения отрасли птицеводства. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4(92). С. 39-45.
2. Дядичкина Л. Ф., Мелехина Т. А., Позднякова Н. С., Голдин Ю. С., Данилов Р. В. Влияние условий хранения яиц кур на результаты инкубации и качество выведенного молодняка. Мировые и российские тренды развития птицеводства: реалии и вызовы будущего: сб. статей по мат. XIX межд. конф. ВНАП. Сергиев Посад, 2018. С. 409-412.
3. Киселев А. И., Ерашевич В. С., Рак Л. Д., Волонсевич М. А., Малец А. В., Горчаков В. Ю. Влияние условий и сроков предынкубационного хранения яиц на жизнеспособность эмбрионов кур. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2022. № 25(2). С. 47-55.

4. Колокольцева Т. Сохраняем свойства инкубационных яиц. Животноводство России. 2019. № 12. С. 19-24.
5. Дорогова В. Б., Тараненко Н. А., Рычагова О. А. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм (обзор). Бюллетень ВЦНЦ СО РАМН, 2010. № 1 (71). С. 32-35.
6. Jha R., Singh A. K., Yadav S., Berrocoso J. F. D., Mishra B. Early Nutrition Programming (in ovo and Post-hatch Feeding) as a Strategy to Modulate Gut Health of Poultry. Front. Vet. Sci. 2019. V. 6. Pp. 82.
7. Wang J. S., Wang D. C., Li K. X., Xia L., Wang Y. Y., Jiang L., Heng C. N., Guo X. Y., Liu W., Zhan X. A. Effects of first feed administration on small intestinal development and plasma hormones in broiler chicks Animals (Basel). 2020. V. 10. P. 1568.
8. Proszkowiec-Weglarz M., Schreier L. L., Miska K. B., Angel R., Kahl S., Russell B. Effect of early neonatal development and delayed feeding post-hatch on jejunal and ileal calcium and phosphorus transporter genes expression in broiler chickens. Poult. Sci. 2019. V. 98. Pp. 1861-1871.
9. Мельникова А. А., Казимирова Т. А., Цыганков Е. М., Викаренко О. В. Вироцид для предынкубационной обработки яиц. Ветеринария. 2021. № 5. С. 47-49.
10. Бурдашкина В. Возраст родительского стада и инкубационные качества яйца. Животноводство России. 2011. № 3. С. 19.
11. Бобылева Г. А. Российское птицеводство в Евразийском экономическом союзе. Птица и птицепродукты. 2022. № 4. С. 4-6.
12. Малец В. Ю., Горчаков В. Ю., Горчакова О. И., Киселев А. И., Рак Л. Д., Волонсевич М. А. Инкубационные качества яиц кур при разных режимах предынкубационной обработки ультрафиолетовым излучением спектра. Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов. 2020. Т. 49. С. 117-124.
13. Hollemans M. S., de Vries S., Lammers A., Clouard C. Effects of early nutrition and transport of 1-day-old chickens on production performance and fear response. Poult. Sci. 2018. V. 97 (7). Pp. 2534-42.

References

1. Tsygankov E. M., Melnikova A. A., Kazimirova T. A. Effect of disinfectants on pre-hatching treatment of eggs to improve the poultry industry. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2022. No. 4 (92). Pp. 39-45.
2. Dyadichkina L. F., Melekhina T. A., Pozdnyakova N. S., Goldin Yu. S., Danilov R. V. The influence of storage conditions for chicken eggs on the results of incubation and the quality of hatched young animals. World and Russian trends in the development of poultry farming: realities and challenges of the future: coll. articles on math. XIX int. conf. VNAP. Sergiev Posad, 2018. Pp. 409-412.
3. Kiselev A. I., Erashevich V. S., Rak L. D., Volonsevich M. A., Malets A. V., Gorchakov V. Yu. The influence of conditions and timing of pre-hatchery egg storage on the viability of chicken embryos. Current problems of intensive development of livestock farming. 2022. No. 25 (2). Pp. 47-55.
4. Kolokoltseva T. Preserving the properties of hatching eggs. Animal husbandry in Russia. 2019. No. 12. Pp. 19-24.
5. Dorogova V. B., Taranenko N. A., Rychagova O. A. Formaldehyde in the environment and its effect on the body (review). Bulletin of the All-Russian Scientific Center SB RAMS, 2010. No. 1 (71). Pp. 32-35.
6. Jha R., Singh A. K., Yadav S., Berrocoso J. F. D., Mishra B. Early Nutrition Programming (in ovo and Post-hatch Feeding) as a Strategy to Modulate Gut Health of Poultry. Front. Vet. Sci. 2019. V. 6. Pp. 82.
7. Wang J. S., Wang D. C., Li K. X., Xia L., Wang Y. Y., Jiang L., Heng C. N., Guo X. Y., Liu W., Zhan X. A. Effects of first feed administration on small intestinal development and plasma hormones in broiler chicks Animals (Basel). 2020. V. 10. P. 1568.
8. Proszkowiec-Weglarz M., Schreier L. L., Miska K. B., Angel R., Kahl S., Russell B. Effect of early neonatal development and delayed feeding post-hatch on jejunal and ileal calcium and phosphorus transporter genes expression in broiler chickens. Poult. Sci. 2019. V. 98. Pp. 1861-1871.
9. Melnikova A. A., Kazimirova T. A., Tsygankov E. M., Vikarenko O. V. Virocide for pre-incubation treatment of eggs. Veterinary medicine. 2021. No. 5. Pp. 47-49.
10. Burdashkina V. Age of the parent flock and incubation qualities of the egg. Animal husbandry in Russia. 2011. No. 3. P. 19.
11. Bobyleva G.A. Russian poultry farming in the Eurasian Economic Union. Poultry and poultry products. 2022. No. 4. Pp. 4-6.
12. Malets V. Yu., Gorchakov V. Yu., Gorchakova O. I., Kiselev A. I., Rak L. D., Volonsevich M. A. Incubation qualities of chicken eggs under different modes of pre-incubation treatment with ultraviolet c-spectrum radiation. Agriculture - problems and prospects: Collection of scientific papers, 2020. V. 49. Pp. 117-124.
13. Hollemans M.S., de Vries S., Lammers A., Clouard C. Effects of early nutrition and transport of 1-day-old chickens on production performance and fear response. Poult. Sci. 2018. V. 97 (7). Pp. 2534-42.

Информация об авторах

Абраменко Екатерина Геннадьевна, соискатель ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), заведующий кафедрой «Технология пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Комарова Зоя Борисовна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Рудковская Алиса Валерьевна, кандидат биологических наук, лаборант-исследователь «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Author's Information

Abramenko Ekaterina Gennadievna, Applicant of the Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), Head of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Komarova Zoya Borisovna, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Rudkovskaya Alisa Valerievna, Candidate of Biological Sciences, Research Assistant at Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolov Aleksander Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ /
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-35

FE-NI-P GALVANIC COATINGS FOR RESTORATION OF WORN PARTS
OF AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT¹Shemyakin A. V., ¹Stekolnikov Yu. A., ¹Uspensky I. A., ¹Yukhin I. A.,
²Fomin S. D., ¹Pukhov E. V., ¹Kutyraev A. A.¹Ryazan Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation²Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Received 25.02.2024

Submitted 05.04.2024

Abstract

Introduction. By analyzing the electrodeposited Fe-Ni-P alloy using electron microscope scanning and X-ray analysis, its unusual structure, including micro and morphological features, becomes apparent. This alloy, produced from a sulphate electrolyte using asymmetric alternating current, is a complex system with the presence of α -Fe and β -Ni phases, as well as phosphorus integrated into Fe₃Ni and a FeSO₄ phase resulting from electrolysis under dynamic conditions. The use of heat treatment causes the appearance of additional phases such as Ni₃P and Fe₃P. A notable characteristic of this alloy is its unique amorphous-nanocrystalline structure. Enhancing the performance of Fe-Ni-P alloy shells is the integration of phosphorus, which makes them twice strong and three times more corrosion resistant than traditional Fe-Ni shells. Also, heat treatment of these shells leads to an increase in their resistance to corrosion and microhardness due to the creation of intermetallic phases. It has been observed that plows treated in this way are distinguished by 1.5-2.2 times improved resistance to abrasion and corrosion compared to sormite products, achieving results similar to composite shells. Research shows a significant reduction in wear on the inside of grain pipelines after they are treated with an alloy based on iron, nickel and phosphorus. In particular, after moving 25,000 tons of grain, grain pipelines restored with this alloy demonstrate approximately 2.4-3.1 times lower levels of wear compared to analogues made from conventional sheet steel. **Object.** The object of the study is the study of galvanic coatings of the Fe-Ni-P type. **Results and conclusion.** The use of cathode current with variable asymmetry, where the current density ranges from 5 to 30 A/dm² and the asymmetry coefficient ranges from 8 to 12, leads to the formation of surfaces with uniform structures. These structures are characterized by the presence of both amorphous and crystalline particles, creating patterns that are similar in appearance to spheres and droplets. They contain phases of compounds such as Ni₃P and Fe₃P, and also contain elements such as α -Fe, β -Ni, and phosphorus, which are incorporated into Fe₃Ni solid solutions.

Keywords: ploughshares, grain pipelines, Fe-Ni-P coating, sulfate electrolyte, asymmetric alternating current, scanning electron microscopy, X-ray diffraction analysis.

Citation. Shemyakin A. V., Stekolnikov Yu. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Fomin S. D., Pukhov E. V., Kutyraev A. A. FE-NI-P galvanic coatings for restoration of worn parts of agricultural machinery and technological equipment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 302-309 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-35.

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 631.198

**ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ Fe-Ni-P ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ
ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**¹Шемякин А. В., доктор технических наук, профессор¹Стекольников Ю. А., кандидат химических наук¹Успенский И. А., доктор технических наук, профессор¹Юхин И. А., доктор технических наук, профессор²Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор¹Пухов Е. В., доктор технических наук, профессор¹Кутыраев А. А., студент¹ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»

г. Рязань, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Анализируя гальванически нанесенный сплав Fe-Ni-P с помощью сканирования электронным микроскопом и рентгеновского анализа, становится очевидной его необычная структура, включающая микро- и морфологические особенности. Этот сплав, получаемый из сульфатного электролита при использовании асимметричного переменного тока, представляет собой комплексную систему с присутствием α -Fe и β -Ni фаз, а также фосфора, интегрированного в FeNi, и фазы FeSO₄, возникающей в результате электролиза при динамических условиях. Применение тепловой обработки вызывает появление дополнительных фаз, таких как Ni₃P и Fe₃P. Примечательной характеристикой данного сплава является его уникальная аморфно-нанокристаллическая структура. Усиление характеристик оболочек из сплава Fe-Ni-P происходит благодаря интеграции фосфора, который делает их вдвое прочнее и в три раза более защищенными от коррозии по сравнению с традиционными Fe-Ni оболочками. Также термическая обработка этих оболочек ведет к увеличению их устойчивости к коррозии и микротвердости за счет создания интерметаллических фаз. Было замечено, что обработанные таким образом пилы выделяют улучшенную в 1,5-2,2 раза стойкостью к абразивному износу и коррозии по сравнению с изделиями из сормайта, достигая результатов, аналогичных композитным оболочкам. Исследования показывают значительное уменьшение износа внутренней части зернопроводов после их обработки сплавом на основе железа, никеля и фосфора. В частности, после перемещения 25 000 тонн зерна зернопроводы, восстановленные данным сплавом, демонстрируют примерно в 2,4-3,1 раза более низкий уровень износа по сравнению с аналогами, изготовленными из обычной листовой стали. **Объект.** Объектом исследования является изучение гальванических покрытий типа Fe-Ni-P. **Результаты и выводы.** Применение катодного тока с переменной асимметрией, где плотность тока колеблется от 5 до 30 А/дм² и коэффициент асимметрии находится в диапазоне от 8 до 12, приводит к формированию поверхностей с равномерными структурами. Эти структуры характеризуются наличием как аморфных, так и кристаллических частиц, создавая образцы, которые внешне похожи на сферы и капли. В их состав входят фазы соединений вроде Ni₃P и Fe₃P, а также содержатся элементы, такие как α -Fe, β -Ni, и фосфор, встраивающийся в твердые растворы FeNi.

Ключевые слова: лемеха, зернопроводы, покрытие Fe-Ni-P, сульфатный электролит, асимметричный переменный ток, растровая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

Цитирование. Шемякин А. В., Стекольников Ю. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Фомин С. Д., Пухов Е. В., Кутыраев А. А. Гальванические покрытия Fe-Ni-P для восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники и технологического оборудования. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 302-309. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-35.

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 области машиностроения часто сталкиваются с проблемой восстановления первоначальных габаритов деталей, подвергшихся износу. Решением этой задачи служит использование гальванических покрытий, особенно на основе железа и его сплавов, благодаря их выдающимся свойствам, включая высокую устойчивость к коррозии, износу, а также значительную твердость и специфическую структуру [1-3].

Среди прочих Fe-Ni-P покрытия замечательны своими уникальными химическими и физико-механическими качествами. Однако, несмотря на известность их полезных свойств, детальные данные о их химическом составе, структуре, морфологии, а также об особенностях физико-механических характеристик в разнообразных условиях электролиза все еще требуют углубленного изучения. Данное исследование посвящено детальному анализу структурных особенностей и фазового состава покрытий на основе Fe-Ni-P, созданных с применением асимметричного переменного тока для их нанесения.

Материалы и методы. Для производства гальванических покрытий из сплава Fe-Ni-P использовалась технология, основанная на применении специализированного оборудования, работающего на основе несимметричного переменного тока. Это устройство состояло из трансформатора для переменного тока, пары тиристоров и контроллера для их управления, включая в себя генератор импульсов, базирующийся на однопереходном транзисторе. Сила тока на катоде менялась в пределах от 5 до 30 ампер на квадратный дециметр, при этом коэффициент асимметрии тока (β) изменялся от 2 до 16 на фоне частоты в 60 Гц. Через управление переменным резистором достигалась регулировка задержки импульсов, что позволяло корректировать момент срабатывания тиристоров, основываясь на периоде, когда напряжение в сети пересекает нулевую отметку, обеспечивая тем самым изменение угла их активации.

Результаты и обсуждение. На специализированной лабораторной установке для нанесения гальванических слоев Fe-Ni-P применялся уникальный процесс, который задействовал асимметричный переменный ток. Этот процесс осуществлялся при различных условиях: катодная плотность импульсов тока варьировалась от 5 до 30 А/дм², асимметрия тока (β) менялась в диапазоне от 2 до 16, при этом частота составляла 60 Гц.

Структура самой установки включала в себя комплексные элементы: трансформатор для переменного тока, пару тиристоров и блок для их управления. Важную роль играл блок управления тиристорами, оборудованный генератором импульсов, работающим на основе однопереходного транзистора. Для точной настройки момента срабатывания тиристоров относительно периода сетевого напряжения использовался переменный резистор, что позволяло изменять угол их активации.

В составе используемого электролита присутствуют различные компоненты: от 350 до 400 граммов на литр серной кислоты с уровнем pH между 0,6 и 1,0, сернокислое железо в концентрации 150 до 350 граммов на литр, никель сернокислый, содержание которого варьируется от 10 до 75 граммов на литр, гипофосфит натрия и аскорбиновая кислота, добавляемые в количествах 5-15 граммов и 3-7 граммов на литр соответственно. Для поддержания и корректировки уровня pH в процессе использовалась серная кислота. Перед началом электролиза, который длится от одной до тридцати минут, образцы подвергались предварительной подготовке. Этот процесс включал химическое обезжиривание в щелочной среде в течение пяти минут, за которым следовали горячая и холодная промывки (при температурах 50 и 20 градусов Цельсия соответственно) на протяжении одной-двух минут. После этого образцы подвергались анодному пассивированию в растворе серной кислоты концентрацией 30% на полминуты до минуты и завершались холодной промывкой.

Размеры слоев колебались между 10 мкм и 300 мкм. Для исследования химического состава и структуры слоев использовали технику рентгеновского дифракционного анализа с применением аппаратуры «Дрон-4М» и использованием Co-K α излучения. Детальное изучение структуры поверхности и химического состава проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-6380LV от JEOL (Япония) и аналитической системы INCA 250 от Oxford Instrument (Великобритания). В некоторых экспериментах слои подвергались обработке при температуре 400 градусов Цельсия на протяжении 30-60 минут в муфельной печи, что происходило в условиях обычной атмосферы.

Анализ начальных этапов формирования покрытий из сплава Fe-Ni-P (при параметрах: время осаждения 30 секунд, плотность тока 10 А/дм², и значение β равное 12) выявил формирование множества сферических частиц микро- и наноразмера, которые как связаны, так и не связаны друг с другом, формируя агломераты, как это демонстрируют иллюстрации 1 и 2. Обнаружено, что покрытие формируется на поверхности, которая была предварительно защищена от окисления, при этом в области границ наносфер и агломератов заметно увеличение содержания углерода при одновременном уменьшении уровней кислорода и фосфора.

Покрытие Fe-Ni-P отличается значительным содержанием фосфора (5,25-7,11 вес %). Размер наносфер – порядка 10-20 нм, агломератов – 1 мкм (рисунок 1).

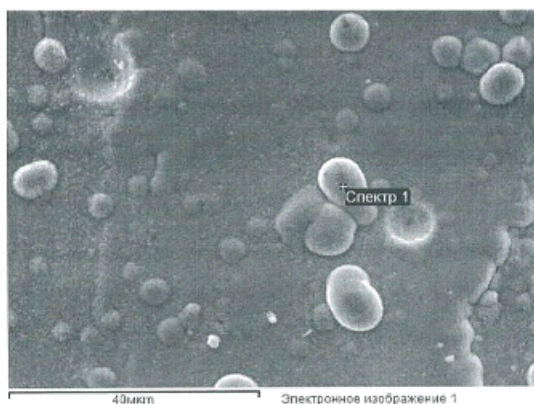


Рисунок 1 – Микроструктура поверхности покрытия сплавом Fe-Ni-P
Figure 1 – Microstructure of the coating surface with Fe-Ni-P alloy

Из литературных данных известно [3], что повышение содержания фосфора в покрытиях способствует уменьшению внутренних напряжений, блокирует образование микротрещин и их развитие. В таблице 1 приведен суммарный спектр элементного состава покрытия Fe-Ni-P, полученного при указанных условиях электролиза.

Таблица 1 – Элементный состав покрытия Fe-Ni-P в зависимости от условий осаждения
($D_k=10\text{A/dm}^2$, $\beta=12$, время осаждения 10 минут)

Table 1 – Elemental composition of the Fe-Ni-P coating depending on the deposition conditions
($D_c=10\text{A/dm}^2$, $\beta=12$, deposition time 10 minutes)

Элемент / Element	Ni	C	P	Fe	O
Содержание, вес.% / Content, wt. %	13,43	6,62	7,11	51,4	21,44

Проведение электролиза на протяжении одного часа увеличивает концентрацию фосфора (от 9,5% до 10,1%) и никеля (от 17,5% до 18%), в то же время уменьшая содержание железа в покрытии. Это приводит к формированию на поверхности равномерного слоя с текстурой, напоминающей глобулы и сфероиды, и имеющего структуру, состоящую из слоев и блоков. Основываясь на анализе изображений на рисунке 1 и изучении поперечных сечений на рисунке 2, становится очевидным, что такая уникальная структура слоя обусловлена периодическими изменениями уровня щелочности возле катода. Эти изменения являются результатом использования асимметричного переменного тока в процессе электролиза и ведут к образованию осадка FePO_4 . Дальнейшая интеграция этого осадка в покрытие подтверждается результатами анализа дифракционного рассеяния и сравнения с данными из базы ASTM.

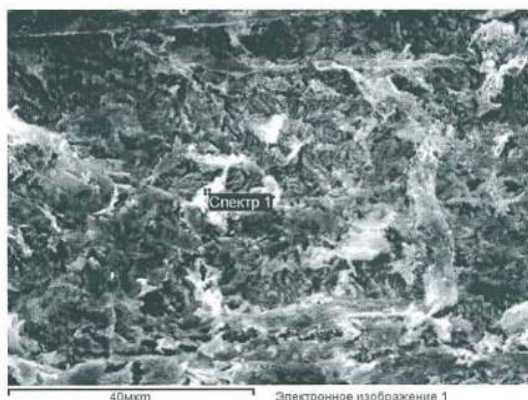


Рисунок 2 – Микроструктура поверхности железо-никель-фосфорного покрытия
Figure 2 – Microstructure of the surface of the iron-nickel-phosphorus coating

В ходе анализа рентгеновских изображений, которые были получены в процессе исследования покрытия Fe-Ni-P, сформированного при помощи электролиза с несимметричным АС с характеристиками в диапазоне $D_k=10-30 \text{ А/дм}^2$ и $\beta=6-12$, обнаружено множество компонентов. Исходное состояние покрытия до проведения тепловой обработки включало в себя различные фазы, среди которых $\alpha\text{-Fe}$, $\beta\text{-Ni}$, Ni_3P , Fe_3P и твердые растворы фосфора в FeNi . Термообработка приводит к появлению дополнительных фосфорных и Ni_2P соединений. Металлические элементы демонстрируют микрокристаллическую структуру, тогда как фосфор находится в аморфном состоянии. Это ведет к формированию уникального покрытия с аморфно-кристаллической структурой и сфероидально-глобулярной морфологией, содержащего Ni_3P и Fe_3P .

Изменение микротвердости и устойчивости к износу покрытий сплава Fe-Ni-P можно наблюдать при различных условиях электролиза, включая плотность тока 20 А/дм^2 и соотношение катод-анод $\beta=6$, как это отражено на рисунке 3. С точки зрения влияния фосфора (P) на качество покрытия, его увеличенное присутствие на стыках кристаллов в условиях неравномерного осаждения способствует повышению показателей микротвердости до диапазона $950-1090 \text{ кгс/мм}^2$ и улучшает защиту от износа. Также стоит отметить, что с ростом катодного импульса происходит уменьшение размеров глобул в процессе формирования сплава. Роль фосфора в улучшении характеристик покрытия подтверждается на примере изменения микротвердости в зависимости от его содержания, что также продемонстрировано на рисунке 3. Термическая обработка является дополнительным методом для достижения высоких показателей микротвердости.

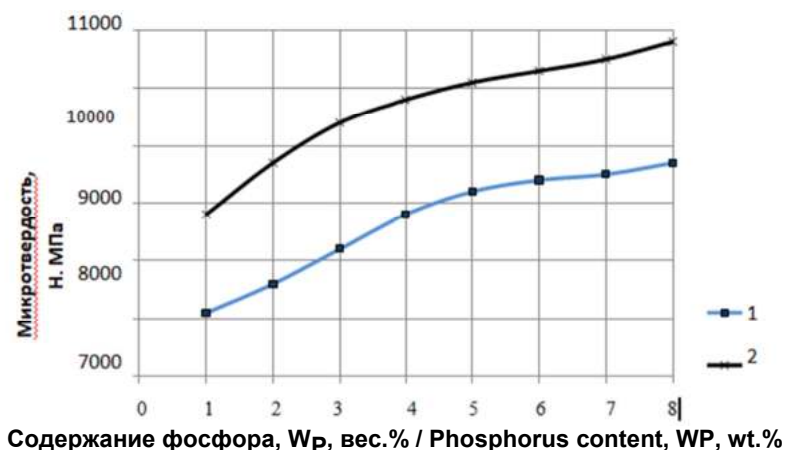


Рисунок 3 – Зависимость микротвердости сплава Fe-Ni-P от содержания фосфора в сплаве без термообработки (1), после термообработки (2)

Figure 3 – Dependence of the microhardness of the Fe-Ni-P alloy on the phosphorus content in the alloy without heat treatment (1), after heat treatment (2)

Основываясь на данных, представленных в рисунке 3, можно сделать вывод о том, что покрытия, обогащенные фосфором, демонстрируют значительное усиление микротвердости, которая может возрастать с 6100 МПа до 8700 МПа в зависимости от его концентрации. Когда же рассматривается воздействие термической обработки в условиях защитной среды при температуре 400°C на протяжении одного часа, микротвердость может достигать значений от 7800 до 11000 МПа . Такое увеличение твердости объясняется формированием пересыщенного твердого раствора фосфора внутри FeNi , что характерно для Fe-Ni-P сплавов. Эти сплавы, содержащие фосфор в диапазоне от $1,3\%$ до $3,2\%$, отличаются мелкокристаллической и слоисто-блочной структурой. В то же время при увеличении содержания фосфора до $3,5-8\%$ покрытия принимают рентгеноаморфный характер, что подтверждается наличием широкого гало в диапазоне углов 2θ от 20 до $35-540$, аналогично наблюдениям для сплавов Ni-P, описанным в источниках [4, 5].

В исследованиях было обнаружено, что сплавы, содержащие от $1,2\%$ до $2,7\%$ фосфора, проявляют интересные характеристики после процесса термической обработки. В частности, в сплавах Fe-Ni-P наблюдался распад на фосфидные фазы, такие как Fe_3P , Ni_3P

и Ni_5P_2 . Этот процесс сопровождался появлением характерных линий $\alpha\text{-Fe}$ (110), Ni (111) и Ni (200), аналогичных тем, что были зарегистрированы в сплавах на основе Fe-P и Ni-P . Также было отмечено, что наличие углерода в покрытиях значительно влияет на поверхностную гетерогенность, создавая препятствия на пути дефектов, таких как дислокации, вакансии и микротрещины. Это, в свою очередь, улучшает характеристики износостойкости и коррозионной устойчивости сплавов, как подтверждено исследованиями.

Износ лемехов плугов, упрочненных Fe-Ni-P покрытиями при испытаниях на черноземе выщелоченном среднесуглинистом в полевых условиях при наработке 150 га в сравнении с лемехами, упрочненными сормайтотом, оказался меньше на 50-70%. С упрочненной носовой частью лемеха с покрытиями Fe-Ni-P толщиной 30 мкм при сравнении с лемехами с сормайтотом имели износ на 80-85% меньше при наработке 150 га в тех же полевых условиях. Эффект самозатачивания и высокая износостойкость покрытий привели к тому, что у лемехов почвообрабатывающих машин повышается долговечность, так угол заостренности составил соответственно 20-27°, а у эталонных 42-45°. Лемеха с покрытиями Fe-Ni-P имели коррозионно-абразивную стойкость в 1,5-2,2 раза выше, чем из сормайтота, что близко к композиционным покрытиям. Износ внутренней поверхности зернопродоводов восстановленных Fe-Ni-P сплавом в 2,4-3,1 раза меньше, чем у изготовленных из листовой стали при пропускании 25000 т зерна.

Заключение. Применение катодного тока с переменной асимметрией, где плотность тока колеблется от 5 до 30 A/dm^2 и коэффициент асимметрии находится в диапазоне от 8 до 12, приводит к формированию поверхностей с равномерными структурами. Эти структуры характеризуются наличием как аморфных, так и кристаллических частиц, создавая образцы, которые внешне похожи на сферы и капли. В их состав входят фазы соединений вроде Ni_3P и Fe_3P , а также содержатся элементы, такие как $\alpha\text{-Fe}$, $\beta\text{-Ni}$, и фосфор, встраивающийся в твердые растворы FeNi . Эта уникальная композиция, обогащенная фосфором, придает покрытиям выдающиеся свойства, сравнимые с хромовыми покрытиями из обычного хромового электролита, включая высокую устойчивость к коррозии и износу, а также значительную микротвердость. Эти качества делают полученные покрытия весьма подходящими для восстановления и улучшения деталей сельскохозяйственной техники и производственных машин.

Conclusions. The use of cathode current with variable asymmetry, where the current density ranges from 5 to 30 A/dm^2 and the asymmetry coefficient ranges from 8 to 12, leads to the formation of surfaces with uniform structures. These structures are characterized by the presence of both amorphous and crystalline particles, creating patterns that are similar in appearance to spheres and droplets. They contain phases of compounds such as Ni_3P and Fe_3P , and also contain elements such as $\alpha\text{-Fe}$, $\beta\text{-Ni}$, and phosphorus, which are incorporated into FeNi solid solutions. This unique phosphorus-rich composition gives the coatings outstanding properties comparable to chrome coatings made of conventional chromium electrolyte, including high resistance to corrosion and wear resistance and significant microhardness. These qualities make the resulting coatings very suitable for restoring and improving parts of agricultural machinery and production machines.

Библиографический список

1. Полищук С. Д., Стекольников Ю. А., Чурилов Д. Г. и др. Восстановление сельскохозяйственной техники и оборудования гальваническими покрытиями на основе железа. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 3 (43). С. 130-135.
2. Ушанев А. И., Кравченко А. М., Борисов Г. А. и др. Современные технологии и материалы для защиты металлических и неметаллических поверхностей сельскохозяйственной техники. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 3 (43). С. 142-147.
3. Полищук С. Д. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники хромовым покрытием с применением наноуглерода. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2022. Т. 14. № 3. С. 113-120.
4. Полищук С. Д., Стекольников Ю. А., Чурилов Д. Г., Стекольников Н. Ю., Арапов И. С. Восстановление сельскохозяйственной техники и оборудования гальваническими покрытиями на основе железа. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 3 (43). С. 130-135.
5. Астанин В. К., Стекольников Ю. А., Емцев В. В., Чурилов Д. Г., Композиционные покрытия на основе сплавов железа с никелем. Проблемы совершенствования машин, оборудования и технологий в агропромышленном комплексе: материалы международной научно-технической конференции. 2019. С. 74-77.
6. Чурилов Д. Г., Стекольников Ю. А., Арапов И. С., Шемякин А. В., Андреев К. П. Промышленное использование хромирования при ремонте деталей сельскохозяйственной техники. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 4 (44). С. 120-125.
7. Пухов Е. В., Сидоренков В. Л., Успенский И. А. и др. Результаты определения температурных значений поверхности восстанавливаемой детали при газотермическом плакировании. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15. № 2. С. 140-146.
8. Фадеев И. В., Успенский И. А., Воронов В. П. и др. Влияние продолжительности струйной мойки на степень очистки деталей. Техника и оборудование для села. 2022. № 8 (302). С. 28-30.

9. Астанин В. К., Стекольников Ю. А., Стекольников Н. Ю. и др. Наводороживание основного металла и хромовых покрытий. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2018. № 2 (38). С. 127-136.

10. Шемякин А. В., Фадеев И. В., Успенский И. А. и др. Повышение коррозионной стойкости внутренних поверхностей топливных цистерн при очистке. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15. № 1. С. 182-190.

11. Успенский И. А., Фадеев И. В., Пестряева Л. Ш. и др. Присадка к средствам для мойки деталей авто-тракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 414-425.

12. Фадеев И. В., Успенский И. А., Пестряев Д. А. и др. Дипинаконборатные добавки в растворы для мойки деталей автотракторной техники. Техника и оборудование для села. 2021. № 5 (287). С. 37-40.

13. Успенский И. А., Кулик С. Н., Митрохина Е. В., Фадеев И. В. Определение оптимальной продолжительности процесса мойки деталей в растворе синтетического моющего средства. Техника и оборудование для села. 2020. № 8 (278). С. 40-42.

References

1. Polishchuk S. D., Stekolnikov Yu. Restoration of agricultural machinery and equipment with iron-based electroplating. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. № 3 (43). Pp. 130-135.

2. Ushanev A. I., Kravchenko A. M., Borisov G. A., et al. Modern Technologies and Materials for the Protection of Metal and Non-Metal Surfaces of Agricultural Machinery. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. № 3 (43). Pp. 142-147.

3. Polishchuk S. D. Restoration of Agricultural Machinery Parts by Chrome Coating Using Nanocarbon. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2022. V. 14. № 3. Pp. 113-120.

4. Polishchuk S. D., Stekolnikov Y. A., Churilov D. G., Stekolnikova N. Yu., Arapov I. S. Restoration of Agricultural Machinery and Equipment with Iron-Based Galvanic Coatings. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. № 3 (43). Pp. 130-135.

5. Astanin V. K., Stekolnikov Y. A., Yemtsev V. V., Churilov D. G., Composite Coatings Based on Iron-Nickel Alloys. Problems of Improving Machines, Equipment and Technologies in the Agroindustrial Complex: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. 2019. Pp. 74-77.

6. Churilov D. G., Stekolnikov Y. A., Arapov I. S., Shemyakin A. V., Andreev K. P. Industrial Use of Chrome Plating in the Repair of Agricultural Machinery Details. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. № 4 (44). Pp. 120-125.

7. Pukhov E. V., Sidorenkov V. L., Uspenskii I. A., et al. Results of Determining the Temperature Values of the Surface of the Part to Be Restored under Gas-Thermal Cladding. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2023. V. 15. № 2. Pp. 140-146.

8. Fadeev, I. V., Uspenskii, I. A., Voronov, V. P., et al. Effect of Jet Cleaning Duration on the Degree of Cleaning of Parts. Machinery and equipment for the village. 2022. № 8 (302). Pp. 28-30.

9. Astanin V. K., Stekolnikov Y. A., Stekolnikova N. Yu., et al. Watering of the Base Metal and Chrome Coatings. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2018. № 2 (38). Pp. 127-136.

10. Shemyakin, A. V., Fadeev, I. V., Uspensky, I. A., et al. Improving the Corrosion Resistance of Internal Surfaces of Fuel Tanks during Cleaning. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2023. V. 15. № 1. Pp. 182-190.

11. Uspenskii I. A., Fadeev I. V., Pestryaeva L. Sh., et al. Additive to Means for Washing Parts of Automotive and Tractor Equipment. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2020. № 4 (60). Pp. 414-425.

12. Fadeev I. V., Uspenskii I. A., Pestryaev D. A., et al. Dipinakonborate Additives in Solutions for Washing Parts of Automotive and Tractor Equipment. Machinery and equipment for the village. 2021. № 5 (287). Pp. 37-40.

13. Uspenskii I. A., Kulik S. N., Mitrokhina E. V., Fadeev I. V. Determination of the optimal duration of the process of washing parts in a solution of a synthetic detergent. Machinery and equipment for the village. 2020. № 8 (278). Pp. 40-42.

Информация об авторах

Шемякин Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: shem.alex62@yandex.ru

Стекольников Юрий Александрович, кандидат химических наук, профессор, зав. кафедрой защиты растений и химии, ФГБУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: chimic57@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4343-0444>, e-mail: ivan.uspenskiy@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автотракторная техника и теплоэнергетика», ФГБУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3822-0928>, e-mail: yuival@rambler.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, доцент, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, профессор кафедры «Механика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Пухов Евгений Васильевич, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: puma231@yandex.ru

Кутыраев Александр Андреевич, лаборант кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: kutyraev@bk.ru

Author's Information

Shemyakin Aleksander Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail: shem.alex62@yandex.ru

Stekolnikov Yuri Aleksandrovich, Candidate of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Plant Protection and Chemistry, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail: chimic57@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4343-0444>, e-mail: ivan.uspenckij@yandex.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Automobile and Tractor Engineering and Thermal Power Engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3822-0928>, e-mail: yuival@rambler.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Professor of the Department of Mechanics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Prospekt, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Pukhov Evgeniy Vasilievich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail: puma231@yandex.ru

Kutyraev Aleksander Andreevich, laboratory assistant at the Department of Engineering Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail: kutyraev@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-36

DIGITAL TWIN OF THE CHASSIS OF ELECTRIC AGRICULTURAL VEHICLE

Aksenov A. G., Ovcharenko A. S., Dmitriev K. S., Kondrakhov D. D., Volkov A. O.

Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kir0597@yandex.ru

Received 15.03.2024

Submitted 20.05.2024

Summary

The article presents the results of simulation testing of a digital twin of the chassis of an electric cargo vehicle for agricultural purposes: overcoming a 50 mm hole and accelerating from a standstill. The results of the study substantiated the characteristics of the suspension elements of an electric vehicle and determined the fulfillment of the conditions for smooth running in the oscillation range of 1.5-2.5 Hz.

Abstract

Introduction. The article is devoted to the study and optimization of the chassis parameters of an electric cargo vehicle, depending on road conditions in the process of performing the transport task of an agricultural enterprise, using the method of simulation modeling. **Object:** study of a digital twin of the suspension of a sample vehicle to optimize its technical characteristics. **Methods.** Based on the developed mathematical model of the suspension of an electric vehicle and its calculated characteristics, a simulation model of the chassis of an electric cargo vehicle was compiled. The simulation model contains parameters of road surface roughness, as well as the specified speed and longitudinal acceleration of the digital twin. The objects of research were the elastic-damping characteristics of the suspension elements of an electric vehicle. **Results.** The results of simulation tests of a digital twin of an electric vehicle chassis when passing an obstacle in the form of a 50 mm hole are presented, and the case of maximum acceleration of an electric vehicle from a standstill of 3 m/s^2 is also considered. The result of the simulation was the dependence of the movement of the body along the vertical axis z' (m/s) and the rate of change in the angle of inclination of the body in the longitudinal plane (swaying of the body) θ' (rad/s), on the time of passing the obstacle. The analysis of the operation of the suspension of an electric vehicle substantiated the characteristics obtained by calculation. The suspension of an electric vehicle allows for smooth operation in the range of 1.5-2.5 Hz.

Keywords: simulation modeling, digital twin of the vehicle, electric transport.

Citation. Aksenov A. G., Ovcharenko A. S., Dmitriev K. S., Kondrakhov D. D., Volkov A. O. Digital twin of the chassis of electric agricultural vehicle. *Proc. of the Lower Volga Agro University Comp.* 2024. 3(75). 309-320 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-36.

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

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

УДК 62-523.8

**ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ШАССИ ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ****Аксенов А. Г., доктор технических наук, главный научный сотрудник****Овчаренко А. С., ведущий инженер****Дмитриев К. С., младший научный сотрудник****Кондрахов Д. Д., инженер****Волков А. О., инженер***Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
г. Москва, Российская Федерация*

Актуальность. Статья посвящена изучению и оптимизации параметров шасси грузового электрического транспортного средства, в зависимости от дорожных условий в процессе выполнения транспортной задачи сельскохозяйственного предприятия, методом имитационного моделирования. **Цель:** исследование цифрового двойника подвески образца техники для оптимизации ее технических характеристик. **Методы:** по разработанной математической модели подвески электротранспортного средства и ее расчетным характеристикам была составлена имитационная модель шасси грузового электротранспортного средства. Имитационная модель содержит параметры неровности дорожного покрытия, а также задаваемую скорость и продольное ускорение цифрового двойника. Объектами исследований были выбраны упруго-демпфирующие характеристики элементов подвески электротранспортного средства. **Результаты:** Приведены результаты имитационных испытаний цифрового двойника шасси электротранспортного средства при прохождении препятствия в виде ямы в $5 \cdot 10^{-2}$ мм, а также рассмотрен случай максимального ускорения электротранспортного средства с места в 3 м/с^2 . Результатом имитационного моделирования стала зависимость движения кузова по вертикальной оси z (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) θ (рад/с), от времени прохождения препятствия. Проведенный анализ работы подвески электротранспортного средства обосновал характеристики, полученные расчетным путем. Подвеска электротранспортного средства позволяет обеспечивать плавность хода в диапазоне 1,5-2,5 Гц.

Ключевые слова: имитационное моделирование, цифровой двойник транспортного средства, электротранспорт.

Цитирование. Аксенов А. Г., Овчаренко А. С., Дмитриев К. С., Кондрахов Д. Д., Волков А. О. Цифровой двойник шасси грузового электротранспортного средства сельскохозяйственного назначения. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 309-320. DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-36.

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. Тенденции последних лет подразумевают, что используемые в сельскохозяйственном производстве машины должны быть максимально энергетически и экономически эффективными, экологически безопасными, а значит, должны наиболее полно соответствовать требованиям тех или иных производственных процессов и технологических операций, что влечет за собой снижения роли универсальной техники и приводит к появлению большого количества узкоспециализированных машин. Для снижения финансовых затрат и сокращения сроков, затрачиваемых на разработку новых машин и их модификаций, целесообразно применять методы имитационного моделирования, вплоть до использования цифровых двойников [1-3]. В данной статье рассматривается исследование упруго-демпфирующих свойств подвески шасси электротранспортного средства (ЭТС), смоделированное в виртуальной среде с использованием его цифрового двойника. Результатом исследования будут являться статические параметры и динамические характеристики элементов подвески, актуальные для фона вибронагрузки, действующие на ЭТС в процессе движения по усредненному дорожному покрытию, подходящему по условиям тому, что имеется на предприятии, с учетом предполагаемой полезной нагрузки и эргономических требований к рабочему месту водителя-оператора.

Материалы и методы. Одним из основных требований к разрабатываемому транспортному средству является повышенная грузоподъемность, относительно аналогов [4]. Также следует учитывать характер дорожных условий в поле и на пересеченной местности

в период уборки зерна [5, 6]. Так, для удовлетворения требований по параметрам грузо-подъемности и уплотняющего воздействия на почву [7] были подобраны шины необходимого типоразмера.

В целях соответствия действующим нормам по уплотняющему воздействию [8, 9] для ЭТС необходимо рассчитать необходимую площадь пятен контакта движителей с почвой исходя из полной массы машины. Влажность грунтовой дороги в период конца июля – начала августа составляет до 0.9 НВ [10], максимальное давление на почву колесного движителя должно составлять не более 10^5 Па. При этом, с учетом того, что нагрузка на единичный колесный движитель не превышает $8 \cdot 10^3$ Н, норма давления увеличивается на 25%, следовательно, максимальное давление на почву не должно превышать $1,25 \cdot 10^5$ Па.

Для данной компоновки была определена допустимая площадь S контакта движителей с опорной поверхностью. Полная масса ЭТС – 920 кг, соответственно сила тяжести машины $G = 9,2 \cdot 10^3$ Н, при ускорении свободного падения $g = 9,81$ м/с². Как указано выше, максимально допустимое давление на почву P , принятое в расчет, составляет $1,25 \cdot 10^5$ Па.

$$S = \frac{G}{P} = \frac{9,2 \cdot 10^3}{1,25 \cdot 10^5} = 7,44 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^2\text{)}. \quad (1)$$

Минимально допустимая общая площадь контакта с опорной поверхностью равна $0,0744$ м². Следовательно, площадь пятна контакта одного колеса S_k :

$$S_k = \frac{0,0744}{3} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^2\text{)}. \quad (2)$$

Полученное значение является приблизительным и не учитывает неравномерность давления в пятне контакта шины с опорной поверхностью. Исходя из известных данных производителей шин требуемые характеристики имеют шины следующего типоразмера: 175/70 R13.

Для определения оптимальных параметров элементов подвески требуется установить исходные характеристики транспортного средства:

- полная масса ЭТС с грузом составляет: $M = 920$ кг;
- неподрессоренная масса переднего колеса: $m_{01} = 15$ кг;
- неподрессоренная масса задних колес суммарно: $m_{02} + m_{03} = 50$ кг;
- расстояние от переднего колеса до центра тяжести: $a = 1,47$ м;
- расстояние от задних колес до центра тяжести $b = 0,57$ м;
- коэффициент демпфирования шины задних колес $C_{01} = C_{02} = C_{03} = 5,5 \cdot 10^{-3}$;
- коэффициент упругой реакции шины переднего колеса $k_{01} = k_{02} = k_{03} = 0,17$.

Расчет дополнительных параметров подвески ЭТС, необходимых для создания цифровой модели, определяется по известным зависимостям.

Статический прогиб подвески:

$$f_{ст} \frac{g}{4\pi^2 v^2} = \frac{9,81}{4 \times 3,14^2 \times 1,2^2} = 0,172 \text{ (м)}, \quad (3)$$

где $v = 1,2$ Гц – частота собственных колебаний поддрессоренных масс.

Усилие на упругом элементе для переднего колеса при статическом прогибе рассчитано исходя из значений нагрузки на единственное колесо:

$$P_{ст1} = 0,35 G_a, \quad (4)$$

где G_a – сила тяжести ЭТС с учетом развесовки 35/65. Следовательно:

$$P_{ст1} = 0,35 G_a = 0,35 \times 9,81 \times 920 = 3158 \text{ (Н)}. \quad (5)$$

Соответственно для колеса задней оси:

$$P_{ст2} = \frac{0,65 G_a}{2} = 2933 \text{ (Н)}. \quad (6)$$

Жесткость пружины определяется по формуле:

$$k = \frac{P_{ст}}{f_{ст}}. \quad (7)$$

Для передней пружины:

$$k_1 = \frac{P_{ст1}}{f_{ст}} = 18\,360 \left(\frac{H}{M} \right). \quad (8)$$

Для пружины одного заднего колеса:

$$k_2 = k_3 = \frac{P_{ст2}}{f_{ст}} = 17\,052 \left(\frac{H}{M} \right). \quad (9)$$

Коэффициент демпфирования амортизатора определяется по формуле:

$$c = 2\pi K_d v M, \quad (10)$$

где: K_d – коэффициент динамичности автомобиля; для малогабаритных грузовых автомобилей и легковых автомобилей принимают значение 2.

Для амортизатора переднего колеса:

$$c_1 = 2 * \pi * K_d * v * 0.35M = 4\,853 \text{ (Нс/м)}. \quad (11)$$

Для амортизатора заднего колеса:

$$c_2 = c_3 = 2 * \pi * K_d * v * \frac{0.65M}{2} = 4\,506 \text{ (Нс/м)}. \quad (12)$$

Проверка совокупности рассчитанных параметров является необходимой задачей для обеспечения работоспособности конструкции, а также безопасности при выполнении транспортных работ как для водителя, так и для груза [11, 12], для чего была разработана математическая модель работы подвески ЭТС [13-15].

Для оценки физических свойств подвески: элементы ЭТС были разделены на поддрессоренную массу (кузов, АКБ, сиденье оператора и т.д.) и неподдрессоренную (колеса, мост, тормозная система и т.д.). Также, демпфирующие свойства подвески [16] были описаны для каждого из колес и составили связки систем «амортизатор-пружина».

Разработана математическая модель движения и ее имитационная интерпретация (рисунок 1), позволившая оценить уровень виброускорений поддрессоренных масс ЭТС. Уточнение математической модели проводилось за счет экспериментальных данных по коэффициенту поглощения энергии и сопротивления упругодемпфирующих элементов конструкции [17-19]. Для описания динамической модели [20, 21] работы подвески ЭТС необходимо описать работу подвески для каждого из колес на примере колебаний кузова в некоторых типовых сценариях, возникающих при движении.

На рисунке 1 представлены: m_1 – поддрессоренная масса ЭТС (масса центра тяжести); a – расстояние от переднего колеса до центра тяжести; b – расстояние от задних колес до центра тяжести; θ – продольное угловое перемещение корпуса ЭТС относительно центра масс; φ – поперечное угловое перемещение корпуса ЭТС относительно центра масс; m_{01} – неподдрессоренная масса ЭТС переднего колеса;

C_1 – коэффициент демпфирования амортизатора подвески переднего колеса;

C_{01} – коэффициент демпфирования шины переднего колеса; k_1 – коэффициент упругой реакции элемента подвески переднего колеса; k_{01} – коэффициент упругой реакции шины переднего колеса; Z_{01} – вертикальная координата перемещения переднего колеса; q_1 – функция возмущающей силы, действующей на переднее колесо;

m_{02} – неподдрессоренная масса ЭТС заднего левого колеса; C_2 – коэффициент демпфирования амортизатора подвески заднего левого колеса; C_{02} – коэффициент демпфирования шины заднего левого колеса; k_2 – коэффициент упругой реакции элемента подвески заднего левого колеса; k_{02} – коэффициент упругой реакции шины заднего левого колеса; Z_{02} – вертикальная координата перемещения заднего левого колеса;

q_2 – функция возмущающей силы, действующей на заднее левое колесо;

m_{03} – неподдрессоренная масса ЭТС заднего правого колеса; C_3 – коэффициент демпфирования амортизатора подвески заднего правого колеса; C_{03} – коэффициент демпфирования шины заднего правого колеса; k_3 – коэффициент упругой реакции элемента подвески заднего правого колеса; k_{03} – коэффициент упругой реакции шины заднего правого колеса; Z_{03} – вертикальная координата перемещения заднего правого колеса; q_3 – функция возмущающей силы, действующей на заднее правое колесо.

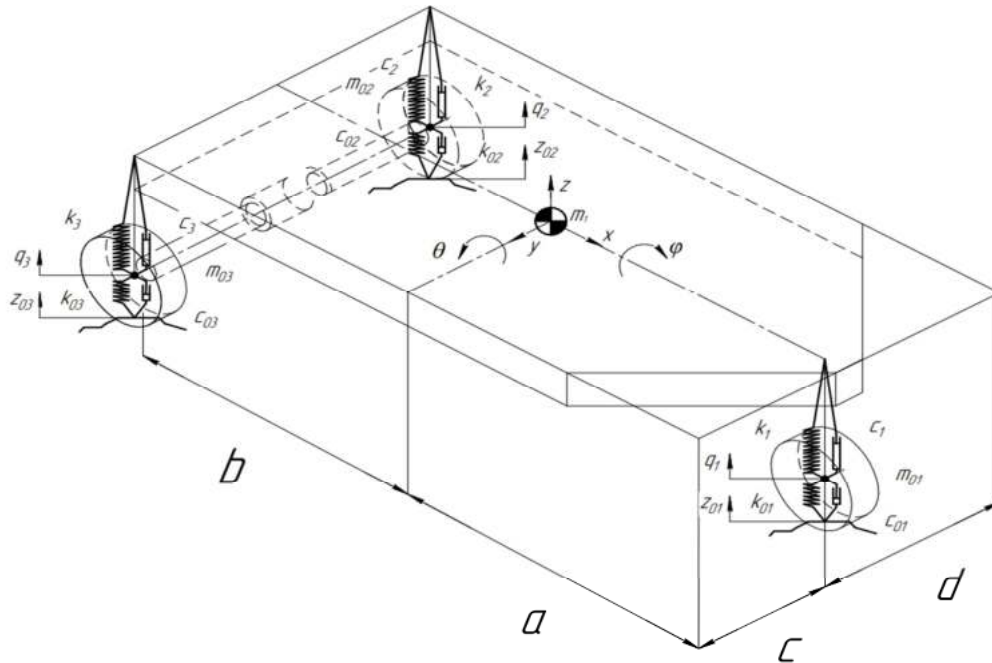


Рисунок 1 – Динамическая модель движения ЭТС для имитационного моделирования
Figure 1 – Dynamic model of electric vehicle motion for simulation

Так как спереди находится единственное колесо, его пятно контакта является единственным местом соприкосновения передней части ЭТС с дорожным покрытием, следовательно, уравнение будет иметь следующий вид:

$$Fm_1 + Fk_1 + Fc_1 + Fk_2 + Fc_2 + Fk_3 + Fc_3 = 0, \quad (13)$$

где: Fm_1 – сила, действующая на поддрессоренную массу; Fc_1 – сила демпфирования передних амортизаторов; Fk_1 – сила упругой реакции пружин передней вилки; Fc_2 – сила демпфирования заднего левого амортизатора; Fk_2 – сила упругой реакции задней левой рессоры; Fc_3 – сила демпфирования заднего правого амортизатора; Fk_3 – сила упругой реакции задней правой рессоры.

Уравнения неподрессоренных масс колес будут выглядеть следующим образом:
Для переднего колеса:

$$m_{01} \ddot{z}_{01} - C_1 (\dot{z} - a \tan \theta - \dot{z}_{01}) - K_1 (z - a \tan \theta - z_{01}) + C_{01} (\dot{z}_{01} - \dot{q}_1) + K_{01} (z_{01} - q_{01}) = 0 \quad (14)$$

Для заднего левого колеса:

$$m_{02} \ddot{z}_{02} - C_2 (\dot{z} - a \tan \theta - \dot{z}_{02}) - K_2 (z - a \tan \theta - z_{02}) + C_{02} (\dot{z}_{02} - \dot{q}_2) + K_{02} (z_{02} - q_{02}) = 0. \quad (15)$$

Для заднего правого колеса:

$$m_{03} \ddot{z}_{03} - C_3 (\dot{z} - a \tan \theta - \dot{z}_{03}) - K_3 (z - a \tan \theta - z_{03}) + C_{03} (\dot{z}_{03} - \dot{q}_3) + K_{03} (z_{03} - q_{03}) = 0. \quad (16)$$

Математическая модель описывается следующими уравнениями динамики:

$$\begin{aligned} I_y \ddot{\theta} + aK_1(\dot{z} - a \tan \dot{\theta} - \dot{z}_{01}) + aC_1(z - a \tan \theta - z_{01}) - bF_{23} &= 0; \\ I_x \ddot{\phi} + dK_3(\dot{z} - d \tan \dot{\phi} - \dot{z}_{03}) + dC_3(z - d \tan \theta - z_{03}) - cK_2(\dot{z} + c \tan \dot{\phi} - \dot{z}_{02}) \\ &\quad - cC_2(z + c \tan \theta - z_{02}) - \frac{c}{(d+c)} F_{23} = 0; \\ m_1 \ddot{z} + K_1(\dot{z} - a \tan \dot{\theta} - \dot{z}_{01}) + C_1(z - a \tan \theta - z_{01}) + K_2(\dot{z} + c \tan \dot{\phi} - \dot{z}_{02}) \\ &\quad + C_2(z + c \tan \theta - z_{02}) + K_3(\dot{z} - d \tan \dot{\phi} - \dot{z}_{03}) + C_3(z - d \tan \theta - z_{03}) = 0; \\ m_{01} \ddot{z}_{01} - K_1(\dot{z} - a \tan \dot{\theta} - \dot{z}_{01}) - C_1(z - a \tan \theta - z_{01}) + K_{01}(\dot{z}_{01} - \dot{q}_1) + C_{01}(z_{01} - q_{01}) &= 0; \\ m_{02} \ddot{z}_{02} - K_2(\dot{z} + c \tan \dot{\phi} - \dot{z}_{02}) - C_2(z + c \tan \theta - z_{02}) + K_{02}(\dot{z}_{02} - \dot{q}_2) + C_{02}(z_{02} - q_{02}) &= 0; \\ m_{03} \ddot{z}_{03} - K_3(\dot{z} - d \tan \dot{\phi} - \dot{z}_{03}) - C_3(z - d \tan \theta - z_{03}) + K_{03}(\dot{z}_{03} - \dot{q}_3) + C_{03}(z_{03} - q_{03}) &= 0. \end{aligned}$$

где: F_{23} – приведенная сила реакции под задним мостом, влияющая на продольные угловые перемещения.

Имитационное моделирование выполнено на базе программного обеспечения Мат-лаб Симулинк [22]. Верхнеуровневый вид имитационной динамической модели движения ЭТС представлен на рисунке 2.

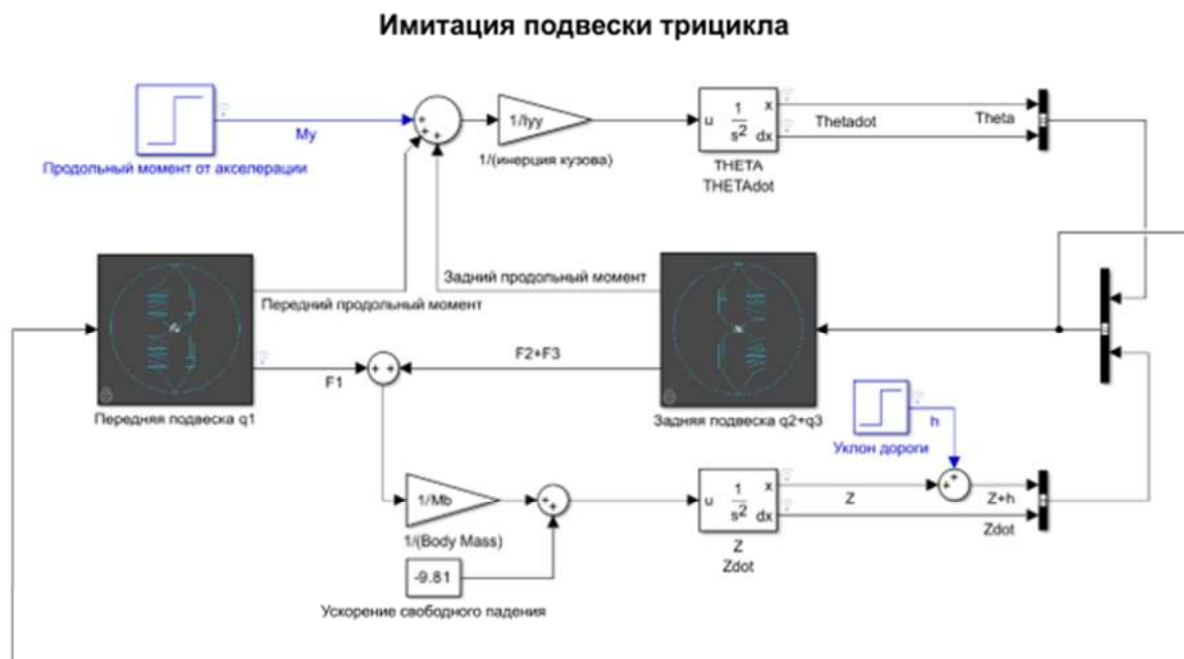


Рисунок 2 – Имитационная интерпретация динамической модели движения ЭТС
Figure 2 – Simulation interpretation of the dynamic model of movement of an electric vehicle

Модель подвески имеет два входных блока: Первый – неровность дороги (ямы и выпуклости). Эта функция имитирует перемещение колеса по вертикальной оси, тем самым оказывая воздействие на трансмиссию. Второй входной сигнал – горизонтальная сила, действующая через центр колес и возникающая в результате маневров торможения или ускорения. Этот входной сигнал появляется только как момент относительно приводной оси.

Математические зависимости передней и задней подвески отображены соответствующими блоками – передняя подвеска q_1 и задняя подвеска q_2+q_3 .

Результаты и обсуждение. Результатами имитационного моделирования являются зависимости перемещений основных точек конструкции, углов отклонения кузова, сил реакции колес и др. по времени проведения испытания. Данная модель позволяет моделировать эффекты изменения демпфирования и жесткости подвески, что дает возможность более точно подобрать необходимые параметры и определить их совокупное влияние на колебательные процессы.

Методом имитационного моделирования проведем анализ работы подвески ЭТС с ранее рассчитанными параметрами. Для определения оптимальных параметров подвески, а именно: C_1 – коэффициент жесткости амортизатора подвески колеса; k_1 – коэффициент упругой реакции элемента подвески колеса: произведена имитация движения ЭТС по неровной ухабистой дороге.

Результатами исследования были выделены функции скорости движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с) в нескольких ситуациях: наезд на выступ; спуск в яму; движение кузова при совершении ускорения.

Для определения глубины моделируемой ямы для дороги, по которой проходит выполнение транспортной задачи ЭТС, выбраны значения, соответствующие ГОСТ Р 50597-2017 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля».

Таким образом, глубина ямы не должна превышать $0,5 \cdot 10^{-2}$ м. Соответственно, колесо трицикла провалится на $0,5 \cdot 10^{-2}$ м при попадании в яму, а при подъеме из ямы поднимется на $0,5 \cdot 10^{-2}$ м. На рисунке 3 отображен процесс внесения данных для падения колеса в яму и подъема из него.

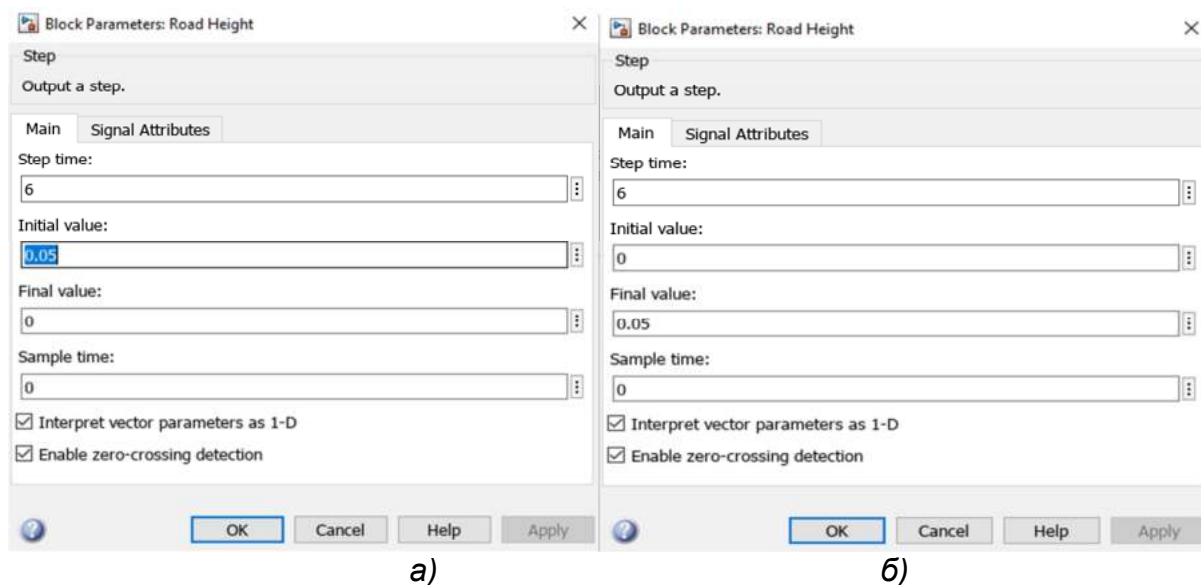


Рисунок 3 – Внесение данных в блок изменения высоты поверхности движения ЭТС

а) спуск в яму, б) подъем из ямы

Figure 3 – Entering data into the block for changing the height of the surface of movement of an electric vehicle; а) descent into the pit, б) ascent from the pit

Под плавностью хода автомобиля понимают совокупность его потенциальных свойств, обеспечивающих ограничение в пределах установленных норм вибронгруженности водителя, пассажиров и груза. Они раскрывают его способность двигаться в определенном интервале скоростей без превышения выше указанных норм [23]. Нормы вибронгруженности определяются таким образом, чтобы на дорогах, для которых разрабатывается автомобиль, у водителя и пассажиров не появлялись неприятные ощущения и быстрая утомляемость от полученных колебаний, а вибрации грузов и конструктивных элементов автомобиля не вызывали нарушения их целостности [24]. Влияние колебаний на водителя, пассажиров, элементы конструкции и перевозимый груз описываются с помощью данных о плавности хода автомобиля. Главное воздействие на плавность хода и самочувствие человека в автомобиле оказывают два вида колебаний: поступательное вертикальное (подпрыгивание) и угловое продольное (галопирование). Другими колебаниями при расчетной оценке плавности хода автомобиля можно пренебречь для упрощения исследования данного явления, что позволит рассматривать колебания автомобиля как плоской фигуры, имеющей форму боковой поверхности корпуса автомобиля в одной вертикальной плоскости, совпадающей со средней скоростью автомобиля. Колебания в вертикальной плоскости зависят от жесткости упругого элемента подвески и эластичности шин. Так как упругий элемент подвески после наезда на препятствие продолжает совершать затухающие колебания, то для гашения этих колебаний в состав подвески вводят амортизаторы.

Наиболее комфортная для человека частота колебаний – это естественная для нас, которую мы испытываем при ходьбе, то есть примерно 1,5-2,5 Гц. Достижение этого параметра обеспечивается соответствием жесткости упругого элемента приходящейся на него массе кузова с грузом и пассажирами.

По полученным зависимостям была рассчитана частота собственных колебаний ЭТС в вышеописанных случаях. Таким образом, была определена плавность хода ЭТС, которая является определяющей характеристикой для оценки расчетных параметров подвески.

Для оценки частоты собственных колебаний для въезда и выезда из ямы глубиной $5 \cdot 10^{-2}$ м была рассчитана частота колебаний для движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с).

Спуск в яму. Для определения частоты колебаний кузова ЭТС методом имитационного моделирования получены значения периода колебаний (рисунок 4).

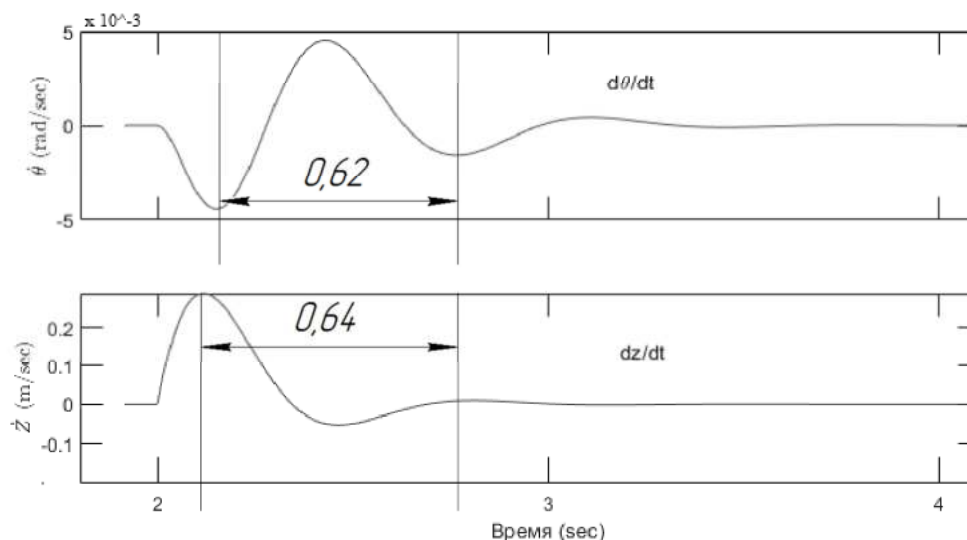


Рисунок 4 – Фрагмент графиков частоты колебаний для движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с) при спуске в яму

Figure 4 – Fragment of graphs of the oscillation frequency for body movement along the vertical axis $\dot{z}$ (m/s) and the rate of change in the angle of inclination of the body in the longitudinal plane (body sway) $\dot{\theta}$ (rad/s) when descending into the pit

Период колебаний $T_{\dot{\theta}} = 0,62$ секунды $T_{\dot{z}} = 0,64$ секунды

Расчет частоты $f_{\text{спуск}}$ по среднему периоду колебаний $T_{\text{ср}}$ от движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с):

$$f_{\text{спуск}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = \frac{1}{0,63} = 1,587 \text{ Гц.} \quad (17)$$

Для определения максимального вертикального ускорения a_z поддрессоренной массы произведен расчет Δ скорости колебаний для движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) по Δ времени (рисунок 5).

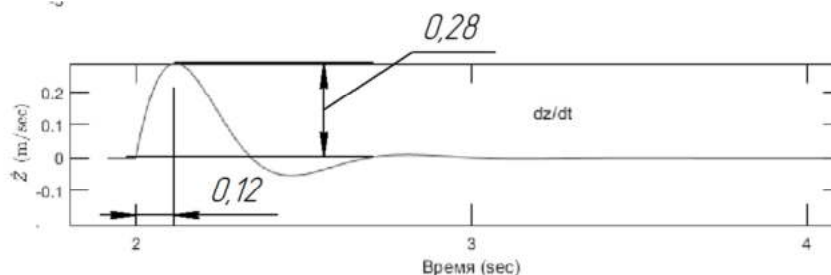


Рисунок 5 – Фрагмент графика частоты колебаний для движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) при спуске в яму

Figure 5 – Fragment of graphs of the oscillation frequency for body movement along the vertical axis $\dot{z}$ (m/s) when descending into the pit

$$a_{\text{зпуск}} = \frac{dz}{dt} = \frac{0,28}{0,12} = 2,3 \text{ (м/с}^2\text{);} \quad (18)$$

Подъем из ямы. Для определения частоты колебаний кузова ЭТС методом имитационного моделирования получены значения периода колебаний (рисунок 6).

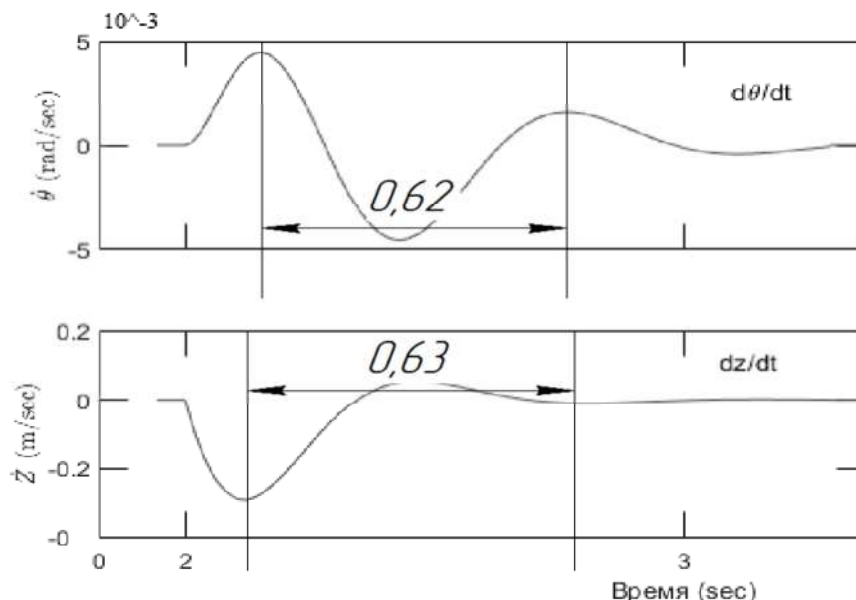


Рисунок 6 – Фрагмент графиков частоты колебаний для движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с) при подъеме из ямы

Figure 6 – Fragment of graphs of the oscillation frequency for body movement along the vertical axis $\dot{z}$ (m/s) and the rate of change in the angle of inclination of the body in the longitudinal plane (body sway) $\dot{\theta}$ (rad/s) when rising from a pit

Период колебаний $T_{\dot{\theta}} = 0,62$ секунды $T_{\dot{z}} = 0,63$ секунды

Расчет частоты $f_{\text{спуск}}$ по среднему периоду колебаний $T_{\text{ср}}$ от движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с):

$$f_{\text{подъем}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = \frac{1}{0,625} = 1,6 \text{ Гц;} \quad (19)$$

Для определения максимального вертикального ускорения a_z подрессоренной массы произведен расчет Δ скорости колебаний для движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) по Δ времени (рисунок 7)

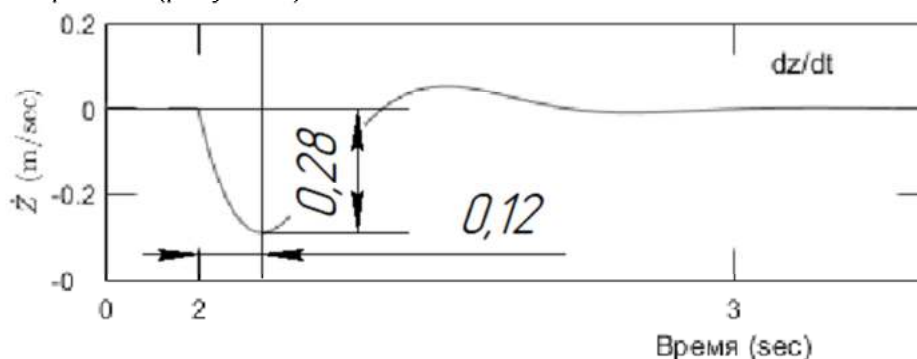


Рисунок 7 – Фрагмент графика частоты колебаний для движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) при подъеме из ямы

Figure 7 – Fragment of graphs of the oscillation frequency for body movement along the vertical axis $\dot{z}$ (m/s) when rising from a pit

$$a_{z\text{сподъем}} = \frac{dz}{dt} = \frac{0.28}{0.12} = 2.3 \text{ (м/с}^2\text{)}; \quad (20)$$

Ускорение. Для имитации ускорения ЭТС исходя из требований выполнения цикла транспортировочных работ по уборке селекционного зерна было выявлено допустимое минимальное ускорение, равное $j_{a0} = 0,28 \text{ м/с}^2$, и максимальное ускорение ЭТС $j_a = 3 \text{ м/с}^2$. Для определения реакции подвески на ускорение ЭТС, выполнено имитационное моделирование ускорения по максимальному значению.

Для определения частоты определен период колебаний (рисунок 8). Была рассмотрена зависимость скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с), так как в данном случае перемещение по вертикальной оси z отсутствует.

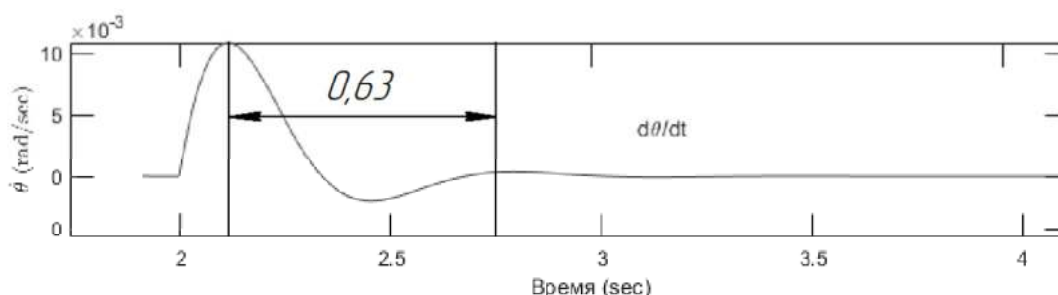


Рисунок 8 – Фрагмент графика скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с) при ускорении ЭТС вперед из неподвижного состояния

Figure 8 – Fragment of the graph of the rate of change in the angle of inclination of the body in the longitudinal plane (body sway) $\dot{\theta}$ (rad/s) when accelerating an electric vehicle forward from a stationary state

Период колебаний $T_z = 0,63$ секунды.

Расчет частоты $f_{\text{спуск}}$ по среднему периоду колебаний $T_{\text{ср}}$ от движения кузова по вертикальной оси $\dot{z}$ (м/с) и скорости изменения угла наклона кузова в продольной плоскости (раскачивания кузова) $\dot{\theta}$ (рад/с):

$$f_{\text{ускор.}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = \frac{1}{0,625} = 1,587 \text{ Гц.} \quad (21)$$

Заключение. Обоснованы параметры электротранспортного средства для сельскохозяйственного производства.

Разработанный метод оценки вертикальных ускорений и частот колебания подвески в процессе имитации движения электротранспортного средства для зерноуборочных работ в селекции и семеноводстве, учитывающий зависимости реакций ходовой системы от профиля дороги или продольных ускорений, показал:

- для достижения требуемой грузоподъемности ЭТС, а также уменьшения воздействия на почву потребовалась установка колес большего типоразмера, в том числе на переднюю вилку с разнесением стоек амортизаторов на большую ширину;
- частота колебаний подрессоренной массы в вышеприведенных случаях равна 1,6 Гц, что соответствует установленным нормам для обеспечения комфортной и безопасной эксплуатации ЭТС;

- максимальное вертикальное ускорение $a_z = 2.3 \text{ (м/с}^2\text{)}$;
- плавность хода подвески ЭТС удовлетворяет требованиям безопасности как для оператора, так и груза.

Conclusions. The parameters of an electric vehicle for agricultural production are justified.

The developed method for assessing vertical accelerations and suspension oscillation frequencies in the process of simulating the movement of an electric vehicle for grain harvesting work in breeding and seed production, taking into account the dependence of the chassis system reactions on the road profile or longitudinal accelerations, showed:

- to achieve the required load capacity of an electric vehicle, as well as reduce the impact on the soil, it was necessary to install larger wheels, including on the front fork with the shock absorber struts spaced wider apart;
- the oscillation frequency of the sprung mass in the above cases is 1.6 Hz, which corresponds to the established standards for ensuring comfortable and safe operation of an electric vehicle;

- maximum vertical acceleration $a_z = 2.3 \text{ (m/s}^2\text{)}$;
- the smoothness of the suspension of an electric vehicle meets the safety requirements for both the operator and the load.

Библиографический список

1. Лобачевский Я. П., Лачуга Ю. Ф., Измаилов А. Ю., Шогенов Ю. Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2023. № 4 (310). С. 2-5.
2. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6-10.
3. Лобачевский Я. П., Миронов Д. А. и др. Эффекты от применения цифровых двойников в сельском хозяйстве. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 103. С. 71-78.
4. Подколзин П. С. Анализ перспектив производства отечественных грузовых мототранспортных средств. Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. № 1. С. 43-47.
5. Дзоцендзе Т. Д. Комплексные исследования новых транспортных средств сельскохозяйственного назначения. Вестник КрасГАУ. 2009. № 3 (30). С. 152-161.
6. Чекмарёв В. Н. Повышение эффективности эксплуатации транспортных средств в сельском хозяйстве (на примере перевозки картофеля). Вестник КГУ. 2006. Т. 12. № 11. С. 63-64.
7. Сыромятников Ю. Н. Пути снижения удельного давления колесных движителей на почву. Сельское хозяйство. 2017. № 4. С. 95-103.
8. Гуреев И. И., Климов Н. С. Модель нормирования механической нагрузки на почву при комплексной механизации региональных агротехнологий. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 49-54.
9. Гуреев И. И. О нормативе затрат на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы. Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 75-78.
10. Гуськов В. В., Поварехо А. В. Влияние характеристик опорной поверхности на тягово-сцепные свойства колесных машин. Вестник Белорусско-Российского университета. 2019. № 3 (64). С. 15-27.
11. Левин А. И., Винокуров Г. Г. Влияние статистических характеристик профиля дороги на колебания подвески автомобильной техники Севера. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2018. № 5 (67). С. 54-64.
12. Оберемок В. А., Аванесян А. М., Демьяновский К. Н., Меликов И. М. Анализ влияния характеристик подвески и шин на нагруженность колес автомобиля при движении по стерновому фону. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 109. С. 971-980.
13. Алакин В. М. Методы моделирования рабочих процессов передней подвески полноприводного автомобиля. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-5. С. 5-12.
14. Левин А. И., Винокуров Г. Г. Использование теории динамических систем для моделирования колебаний подвески автомобильной техники Севера. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. 2017. № 5 (61). С. 57-66.
15. Власов В. Г., Доморозов А. Н., Нгуен В. Н. Математическая модель процесса колебания поддрессоренной и неподдрессоренной масс автомобиля на опорной платформе вибростенда KDXG. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 12 (59). С. 160-167.
16. Горобцов А. С., Поляков Ю. А., Лебедев А. И. Влияние коэффициентов демпфирования адаптивных гидроневматических подвесок на виброн нагруженность автомобиля. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2014. № 2 (95). С. 122-132.
17. Дубровский А. Ф., Алюков А. С., Алюков С. В. и др. Сравнительный анализ методов аппроксимации рабочей характеристики упругого элемента подвески автомобиля. ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2017. Т. 17. № 4. С. 5-12.
18. Кузьмин В. А., Федоткин Р. С., Крючков В. А. Разработка имитационной модели для оценки эффективности виброзащиты системы поддрессирования колесного сельскохозяйственного трактора класса 4. Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 2 (27). С. 340-347.
19. Кузьмин В. А., Федоткин Р. С., Крючков В. А. Искусственная нейронная сеть для обоснования параметров ходовых систем тракторов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 4. С. 24-30.
20. Вольская Н. С., Чичекин И. В. Корректировка расчетов на плавность хода колесных машин по их динамическим моделям. Известия МГТУ. 2013. № 2 (16). С. 241-248.
21. Юхин И. А., Успенский И. А. Математическая модель движения универсального транспортного средства по полю. Научный журнал КубГАУ. 2013. № 92. С. 381-391.
22. Сидорова А. В., Степин П. И., Сидоров В. Н. Имитационное моделирование колебаний центра масс колесной машины с помощью программы Simulink. Инженерный вестник Дона. 2020. № 4 (64). С. 3.
23. Кравец В. Н. Теория автомобиля. М.: Машиностроение, 2007. 273 с.
24. Балабин И. В. Испытания автомобилей. М.: Машиностроение, 1988. 203 с.

References

1. Lobachevsky Y. P., Lachuga Y. F., Izmailov A. Yu., Shogenov Y. Kh. Scientific and Technical Achievements of Agroengineering Scientific Organizations in the Context of Digital Transformation of Agriculture. Machinery and equipment for the village. 2023. № 4 (310). Pp. 2-5.
2. Lobachevsky Y. P., Dorokhov A. S. Digital Technologies and Robotic Technical Means for Agriculture. Agricultural Machinery and Technologies. 2021. V. 15. № 4. Pp. 6-10.
3. Lobachevsky Y. P., Mironov D. A., et al. Effects of the use of digital twins in agriculture. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023. № 103. Pp. 71-78.
4. Podkolzin P. S. Analysis of the Prospects for the Production of Domestic Freight Motor Vehicles. Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. 2023. № 1. Pp. 43-47.

5. Dzotsenidze T. D. Comprehensive Studies of New Means of Agricultural Purpose. Vestnik KrasGAU. 2009. № 3 (30). Pp. 152-161.
6. Chekmaryov V. N. Improving the efficiency of the operation of vehicles in agriculture (on the example of potato transportation). Vestnik KSU. 2006. V. 12. № 11. Pp. 63-64.
7. Syromyatnikov Y. N. Ways to reduce the specific pressure of wheel propellers on the soil. Agriculture. 2017. № 4. Pp. 95-103.
8. Gureev I. I., Klimov N. S. Model of Normalization of Mechanical Load on Soil in Complex Mechanization of Regional Agricultural Technologies. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2018. № 1. Pp. 49-54.
9. Gureev I. I. On the standard of costs for the elimination of the consequences of technogenic soil degradation. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. V. 32. № 11. Pp. 75-78.
10. Guskov V. V., Povarekko A. V. Influence of Support Surface Characteristics on Traction and Coupling Properties of Wheeled Vehicles. Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2019. № 3 (64). Pp. 15-27.
11. Levin A. I., Vinokurov G. G. Influence of Statistical Characteristics of the Road Profile on Suspension Vibrations of Motor Vehicles of the North. Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov. 2018. № 5 (67). Pp. 54-64.
12. Oberemok V. A., Avanesyan A. M., Demyanovsky K. N., Melikov I. M. Analysis of the Influence of Suspension and Tire Characteristics on the Load of Car Wheels When Driving on a Stubble Background. Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. № 109. Pp. 971-980.
13. Alakin V. M. Methods of Modeling the Working Processes of the Front Suspension of an All-Wheel Drive Car. Actual problems of the humanities and natural sciences. 2016. № 7-5. Pp. 5-12.
14. Levin A. I., Vinokurov G. G. Use of the Theory of Dynamic Systems for Modeling Oscillations of the Suspension of Automotive Vehicles of the North. Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov. 2017. № 5 (61). Pp. 57-66.
15. Vlasov V. G., Domorozov A. N., Nguyen V. N. Mathematical model of the process of oscillation of the sprung and unsprung masses of the car on the support platform of the KDXG vibration stand. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2011. № 12 (59). Pp. 160-167.
16. Gorobtsov A. S., Polyakov Y. A., Lebedev A. I. Influence of Damping Coefficients of Adaptive Hydropneumatic Suspensions on the Vibration Loading of the Car. Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Sir. Engineering. 2014. № 2 (95). Pp. 122-132.
17. Dubrovsky A. F., Alyukov A. S., Alyukov S. V., et al. Comparative Analysis of Methods for Approximating the Performance Characteristic of an Elastic Element of a Car Suspension. SUSU. Series: Mechanical Engineering. 2017. V. 17. № 4. Pp. 5-12.
18. Kuzmin V. A., Fedotkin R. S., Kryuchkov V. A. Development of a Simulation Model to Assess the Effectiveness of Vibration Protection of the Suspension System of a Class 4 Wheeled Agricultural Tractor. Innovations in agriculture. 2018. № 2 (27). Pp. 340-347.
19. Kuzmin V. A., Fedotkin R. S., Kryuchkov V. A. Artificial Neural Network for Justification of Tractor Running System Parameters. Agricultural Machinery and Technologies. 2017. № 4. Pp. 24-30.
20. Volskaya N. S., Chichekin I. V. Correction of Calculations for the Smoothness of Wheeled Vehicles Based on Their Dynamic Models. Proceedings of MSTU. 2013. № 2 (16). Pp. 241-248.
21. Yukhin I. A., Uspensky I. A. Mathematical model of the movement of a universal vehicle on the field. Scientific journal of the KubSAU. 2013. № 92. Pp. 381-391.
22. Sidorova A. V., Stepin P. I., Sidorov V. N. Simulation Modeling of Center of Mass Oscillations of a Wheeled Machine Using the Simulink Program. Engineering Bulletin of the Don. 2020. № 4 (64). P. 3.
23. Kravets V. N. Theory of the car. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007. 273 p.
24. Balabin I. V. Testing of automobiles. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 203 p.

Информация об авторах

Аксенов Александр Геннадьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: 1053vim@mail.ru

Овчаренко Александр Сергеевич, ведущий инженер, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: Peterbilt@list.ru

Дмитриев Кирилл Сергеевич, младший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: kir0597@yandex.ru

Кондрахов Даниил Дмитриевич, инженер, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: TancorKondor@yandex.ru

Волков Артем Олегович, инженер, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: volkovart2000@mail.ru

Author's Information

Aksenov Aleksander Gennadevich, Doctor of Engineering Sciences, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: 1053vim@mail.ru.

Ovcharenko Aleksander Sergeevich, leading engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: Peterbilt@list.ru

Dmitriev Kirill Sergeevich, Junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: kir0597@yandex.ru.

Kondrakhov Danil Dmitrievich, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: TancorKondor@yandex.ru

Volkov Artem Olegovich, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: volkovart2000@mail.ru

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF SPRAYING IN THE CULTIVATION OF CEREALS**Borisenko I. B., Romenskaya O. N., Sidorov A. N., Kholod A. A., Dadykina M. S.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: borisenivan@yandex.ru

Received 10.03.2024

Submitted 10.05.2024

Abstract

Introduction. The plant protection system includes a set of methods, techniques and means aimed at preserving the harvest, protecting cultivated plants from diseases and pests, and ensuring the safety of grown products. The technological process of ground spraying of cereal crops depends on the type of nozzle and its location relative to the boom. With a vertically directed arrangement of bodies, the fundamental factor for successful spraying is the choice of the type of nozzles, the spray rate and the average droplet size. The purpose of the research was to substantiate the technology of application and technical means of chemical treatment of soil and plants for the cultivation of cereal crops based on the modernization of a ground boom sprayer, which helps to increase the productivity and consumer quality of crop products in combination with the safe application of a working solution.

Materials and methods. To compare the technological advantage of spraying with double-jet injection nozzles with asymmetric jet angles over conventional single-flare injection nozzles, field production tests of the spraying process with different nozzles (single-flare flat jet – XR8003 and AI3070) were carried out. Qualitative indicators of the dispersed composition of settled drops and the thickness of the coating of the treated object were determined by the indicator strip method in accordance with GOST R 53053. **Results and discussions.** Interim results of studies of the influence of the spraying technological process on the qualitative indicators of droplet distribution at various levels of the plant stand are presented in a graphical representation. The coefficient of change in quality indicators is given relative to the basic spraying technology based on slot sprayers for a zone of 10 centimeters after 20 centimeters. **Conclusion.** The research results showed that the use of slot sprayers reduces the amount of coverage area in the lower part of the stems relative to the upper by 2.90 times. For the two-flare spraying method – 0.87 times, and when arranging nozzles according to RF patent No. 2783606 – 0.90 times.

Keywords: spraying technologies, cereal crops, quality indicators of spraying, two-flare nozzles, chemical plant protection products.

Citation. Borisenko I. B., Romenskaya O. N., Sidorov A. N., Kholod A. A., Dadykina M. S. Technological aspects of spraying in the cultivation of cereals. *Proc. of the Lower Volga Agro University Comp.* 2024. 3(75). 321-330 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-37.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, or 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 632.98/631.3

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЫСКИВАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ
ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ**

Борисенко И. Б., доктор технических наук, профессор
Роменская О. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Сидоров А. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Холод А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Дадыкина М. С., магистрант

*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Система защиты растений включает совокупность методов, приемов и средств, направленных на сохранение урожая, защиту культурных растений от болезней и вредителей, обеспечение безопасности выращиваемой продукции. Технологический процесс наземного опрыскивания колосовых зерновых культур зависит от типа форсунки и её расположения относительно штанги. При вертикально направленном расположении корпусов, основополагающим фактором успешного проведения опрыскивания является выбор типа форсунок, нормы расхода распылителя и средней величины капли. Цель исследований заключалась в обосновании технологии применения и технических средств химической обработки почвы и растений для возделывания зерновых колосовых культур на основе модерниза-

ции наземного штангового опрыскивателя, способствующие повышению продуктивности и потребительского качества продукции растениеводства в сочетании с безопасным внесением рабочего раствора. **Материалы и методы.** Для сравнения технологического преимущества опрыскивания посредством инжекторных двухфакельных форсунок с асимметричными углами факелов перед обычными однофакельными инжекторными форсунками были проведены полевые производственные испытания технологической операции опрыскивания с различными форсунками (однофакельный плоскоструйный – XR8003 и AI3070). Качественные показатели дисперсного состава осевших капель и густота покрытия объекта обработки, определяли методом индикаторных полосок в соответствии с ГОСТ Р 53053. **Результаты и обсуждения.** Представлены промежуточные результаты исследований влияния технологического процесса опрыскивания на качественные показатели распределения капли на различных уровнях стеблестоя в графическом изображении. Коэффициент изменения качественных показателей приведен относительно базовой технологии опрыскивания на основе щелевых распылителей для зоны 10 сантиметров через 20 сантиметров. **Заключение.** Результаты исследований показали, что применение щелевых распылителей снижает количество площади покрытия в нижней части стеблей относительно верхней в 2,90 раза. Для метода двухфакельного опрыскивания – 0,87 раза, а при расстановке форсунок по патенту РФ №№2783606 – 0,90 раза.

Ключевые слова: технологии опрыскивания, зерновые колосовые культуры, качественные показатели опрыскивания, двухфакельные форсунки, химические средства защиты растений.

Цитирование. Борисенко И. Б., Роменская О. Н., Сидоров А. Н., Холод А. А., Дадыкина М. С. Технологические аспекты опрыскивания при выращивании зерновых колосовых. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 321-330. DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-37.

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. Величина и качество продукции растениеводства зависит от совокупного сочетания многих погодно-климатических, почвенных и технологических факторов. Улучшению качества зерна и уменьшению потерь продукции способствует применение прогрессивных приёмов выращивания сельскохозяйственных культур, семенного материала, средств защиты, питания растений, в том числе интенсивных технологий и внедрение новейших методов [6].

Способность пшеницы произрастать в разнообразных климатических условиях делает её одной из самых распространённых зерновых культур на планете. Обладая высоким продовольственным потенциалом, пшеница представляет большой интерес дальнейшего роста экономической эффективности с организационно-хозяйственной точки зрения.

Исследования показывают, что в настоящее время достигнутый уровень урожайности озимой и яровой пшеницы, с многообразием сортов с «подходящими» характеристиками, далеко не исчерпывает возможности этой культуры. Применяемые технологические мероприятия нельзя считать удовлетворительными, так как объёмы производства зерновых во многих сельскохозяйственных районах России неустойчивы.

Безусловно, в значительной степени величина и качество урожая любой культуры зависят от качественного и своевременного, научно-обоснованного проведения и применения всего комплекса мероприятий по подготовке почвы, семенного материала, средств защиты и питания растений. Недооценка или нарушение любого технологического элемента возделывания может привести к недобору и ухудшению качества урожая, неоправданным затратам. Однако широкий спектр средств химической защиты сельскохозяйственных культур при возможном нарушении регламента использования приводит к загрязнению окружающей среды, что оказывает экотоксикологическое воздействие на живые организмы [7].

Следует отметить, что ухудшение фитосанитарного состояния посевов является одной из причин снижения урожайности пшеницы в любой зоне этой культуры. Наиболее экстремальные ситуации создаются в такие важные периоды, как выход в трубку – колошение, цветение – восковая спелость, что сказывается на озерненности колоса и выполненности зерна [5]. Минимизация использования агрохимикатов при обработке сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей, а также снижение гектарной нормы при внесении удобрений является одним из направлений снижения парниковых газов в атмосфере, что лежит в основах реализации регенеративного земледелия [8, 9, 10].

Кроме того, обеспечение растений азотным питанием в период всей вегетации имеет важное значение, при этом лидирующее место занимают внекорневые подкормки. Поэтому технологическая операция опрыскивание имеет большое значение в технологии выращивания пшеницы. Соответственно, использование дорогостоящих средств защиты растений и жидких удобрений должно осуществляться только на основе обследования полей и диагностики минерального питания растений [3]. Также необходимо отметить, что при выборе технологического процесса опрыскивания необходимо обратить внимание на тип полегания посевов: стеблевое или прикорневое.

В связи с этим нами была поставлена цель обосновать технологию применения и технические средства химической обработки почвы и растений для возделывания зерновых колосовых культур на основе модернизации наземного штангового опрыскивателя, способствующие повышению продуктивности и потребительского качества продукции растениеводства в сочетании с безопасным внесением рабочего раствора.

Материалы и методы. Технологический процесс наземного опрыскивания зависит от типа форсунки и её расположения относительно штанги. При вертикально направленном расположении корпусов, основополагающим фактором успешного проведения опрыскивания является выбор типа форсунок, нормы расхода распылителя и средней величины капли [2, 11, 12]. Однородность спектра капель также увеличивает равномерность покрытия. Для пробивания «хлебостоя» в вертикальной плоскости нужна крупная капля, но это большой расход рабочего раствора и стекание с листьев.

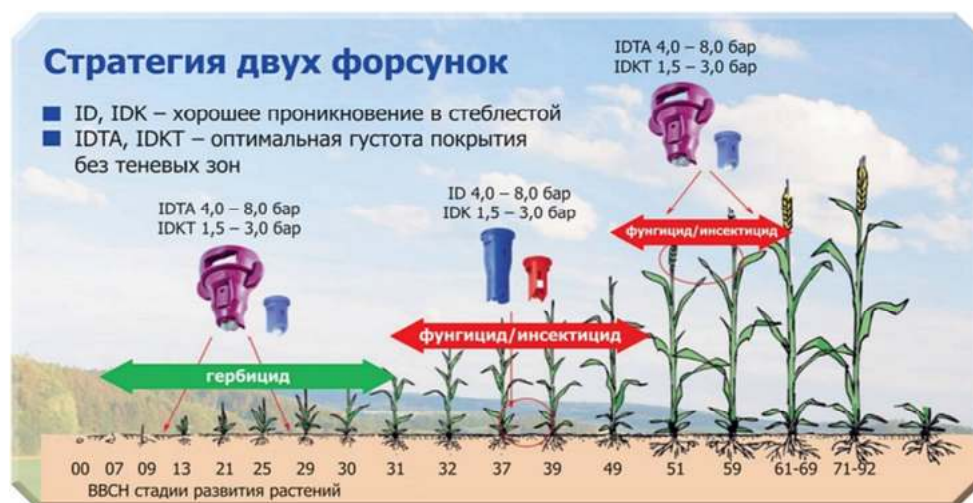


Рисунок 1 – Стратегия двух новых типов форсунок
Figure 1 – Strategy of two new types of injectors

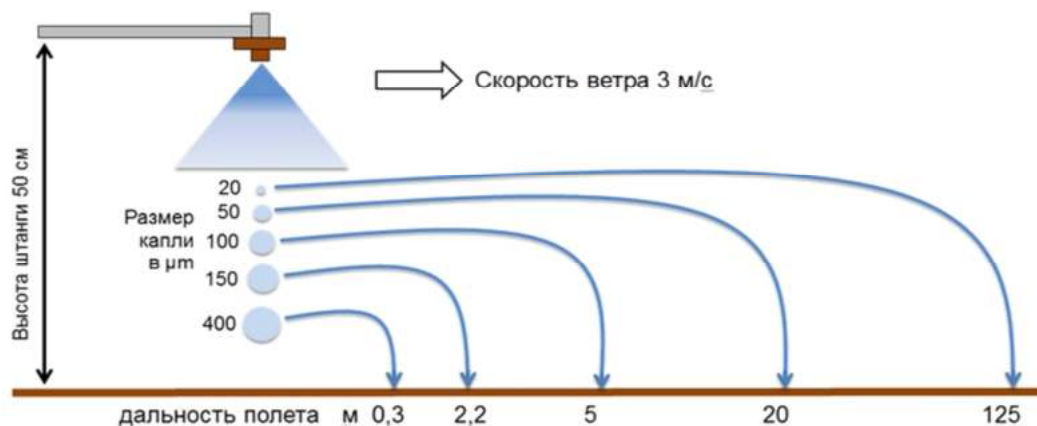


Рисунок 2 – Влияние размера капли на дальность сноса при скорости ветра 3 м/с
Figure 2 – Effect of droplet size on drift distance at wind speed of 3 m/s

В результате постоянного совершенствования техники создаются все более совершенные форсунки. Новые типы форсунок минимизировали недостатки предыдущих. Достаточно простые щелевые (ST, LU, AD, DF), все еще используемые из-за их небольшой стоимости. Высокотехнологичными инжекторными форсунками (ID3, IDK, IDKT) частично решают проблему ветра (до 5 м/с), увеличив размер капли инъекцией и дробя её при встрече с препятствием, но всё равно не добиваются требуемого распределения капли по высоте стебля более 0,5 метра [2].

Несмотря на значительную разницу в стоимости, высокотехнологичные инжекторные форсунки находят все большее применение из-за неоспоримых преимуществ в работе – за счет существенного снижения потерь при сносе и испарении, а также более равномерного распределения средств защиты растений по обрабатываемой поверхности. В растительных массивах площадь покрытия определяется способностью проникновения капель в стеблестой [1, 3].

Для увеличения проникающей способности капли в стеблестой применяют двухфакельные форсунки. Фирма Lechler представила форсунку IDTA, а Teejet – инжекторную двухфакельную асимметричную форсунку AI3070, специально разработанные для работы с зерновыми культурами.



Рисунок 3 – Схема работы форсунок IDTA (Lechler) и AI3070 (Teejet)
Figure 3 – Scheme of operation of IDTA (Lechler) and AI3070 (Teejet) injectors

Асимметричность двух факелов позволяет под более прямым углом обрабатывать поверхность вертикально стоящих объектов [4]. Два асимметричных факела: 30° отклонение от вертикали по ходу движения обеспечивает отличное проникновение для зерновых культур, а отклонение от вертикали против движения от 50° до 70°, с различными потоками жидкости, максимизирует охват семенных шапок культуры, факелы распыла применяют от 65 до 120°:

- ✓ по ходу движения применяют факел с распылом от 50 до 60% объема жидкости;
- ✓ факел распыла против движения распыляет от 40 до 50% объема, при этом в этом потоке формируются капли, которые дополнительно придавливают к целевой поверхности, образовавшиеся мелкие и дрейфующие капли против движения с первого факела.

На рисунке 4 представлена технологическая схема опрыскивания посредством инжекторных двухфакельных форсунок с асимметричными углами факелов распыла в продольном направлении.

Проникновение капель достигается кинетической энергией капель факелов, которые раздвигают стеблестой впереди и сзади в плоскости расположения форсунок.

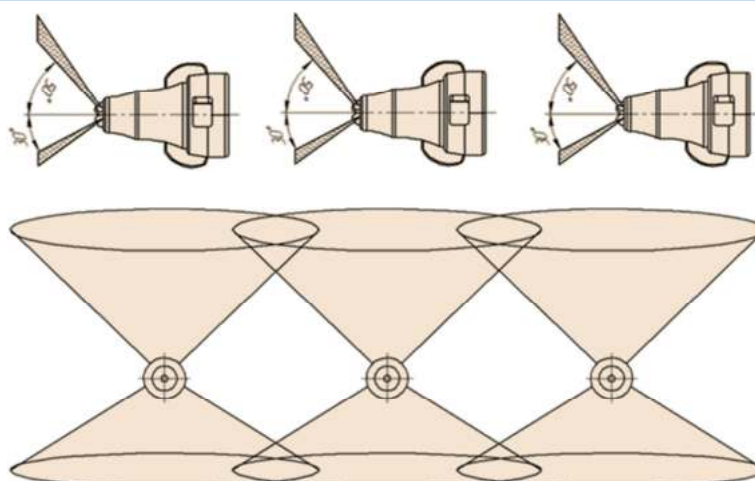


Рисунок 4 – Технологическая схема опрыскивания посредством инжекторных двухфакельных форсунок с асимметричными углами факелов распыла

Figure 4 – Technological scheme of spraying by means of injector two-flare nozzles with asymmetrical spray nozzle angles

Данная технология опрыскивания и конструкция форсунки позволяет обрабатывать растения при скорости ветра до 7 м/с и рабочей скорости до 25 км/ч с минимальным сносом рабочего раствора. Второй блок применения – это внесение фунгицидов/ инсектицидов по колосу у зерновых колосовых, а также применение десикантов на бобовых и пр. Такой тип форсунки позволяет качественно обрабатывать целевые поверхности действующими веществами контактного типа действия, когда качество покрытия имеет большое значение. Одним из преимуществ перед обычными однофакельными инжекторными форсунками является более жесткий корпус [3]. Данная форсунка является базовой для:

- ✓ регионов с высокой температурой;
- ✓ ветреных регионов;
- ✓ для опрыскивания на высоких скоростях.

В ходе теоретического анализа и полевых исследований нами было выявлено, что недостатком такого способа является снижение равномерности нанесения жидкостно-воздушных капель на стебле, тыльной и внутренней стороне листа, в зонах слияния потоков равнонаправленных факелов распыла от соседних форсунок.

Перед нами была поставлена задача – повышение эффективности наземного опрыскивания. Данная задача решалась исключением слияния факелов распыла от соседних форсунок, обеспечивающее повышение проникновения распыляемого рабочего раствора в листовую часть растений и увеличение равномерности его нанесения.

Более равномерный и глубокий результат проникновения капель достигается новой расстановкой форсунок [патент РФ №2783606].

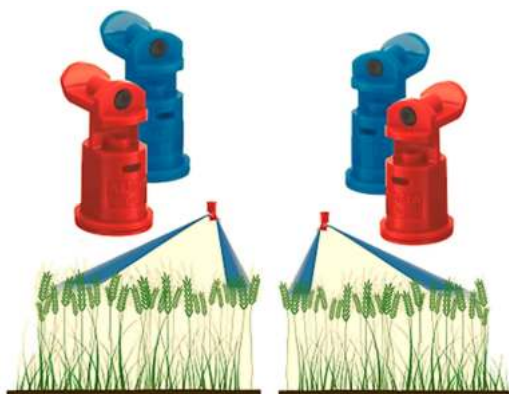


Рисунок 5 – Технологическая схема процесса опрыскивания по патенту № 2783606

Figure 5 – Technological diagram of the spraying process under patent No 2783606

При этом каждая последующая форсунка установлена с разворотом на 180 градусов от предыдущей. Последовательное изменение асимметричных углов факелов распыла относительно оси форсунки вызывает переменное воздействие на растение факелом потока распыляемого рабочего раствора (рисунок 6). Такое воздействие потоками жидкости, по образуемой синусоидальной линии, снижает плотность стояния растений, что увеличивает проникновение рабочего раствора в зоны затенения от листвы и стеблей.

Предварительно полученные результаты полевых исследований показали технологическую эффективность применения способа наземного опрыскивания жидкостно-воздушными каплями по патенту РФ №2783606 относительно традиционного опрыскивания, как простыми щелевыми, так и с двухфакельными форсунками с асимметричными углами факелов распыла.

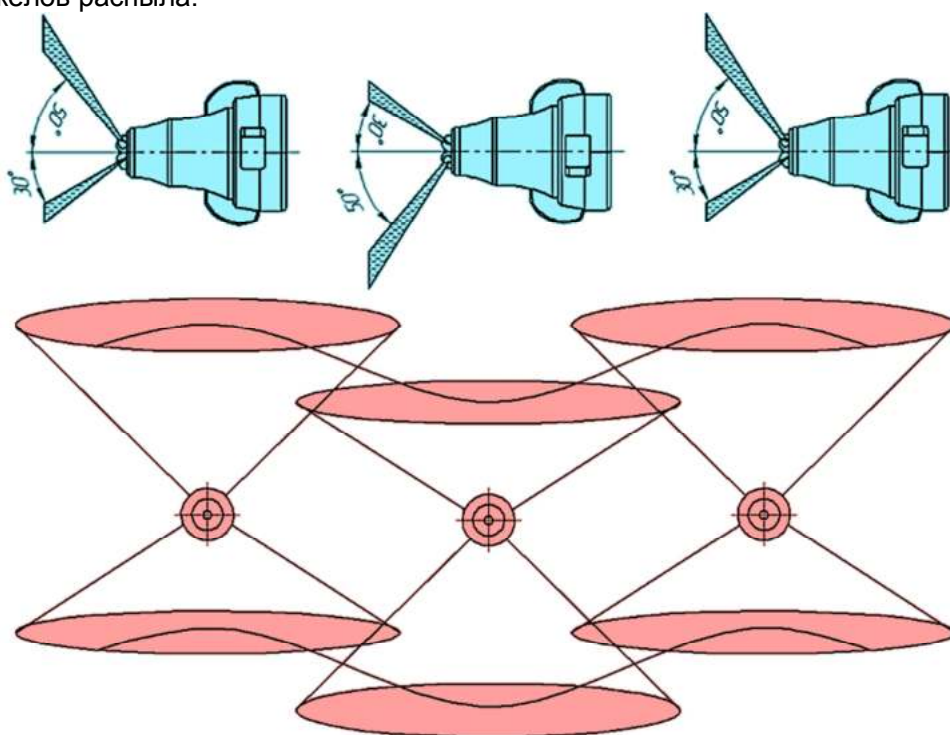


Рисунок 6 – Технологическая схема опрыскивания посредством инжекторных двухфакельных форсунок с асимметричными углами факелов распыла с установкой соседних форсунок с разворотом на 180 градусов от предыдущего

Figure 6 – Technological scheme of spraying by means of injector two-flare nozzles with asymmetrical angles of spray flames with the installation of adjacent nozzles with a 180-degree rotation from the previous one

Результаты и обсуждения. Чтобы сравнить технологическое преимущество опрыскивания посредством инжекторных двухфакельных форсунок с асимметричными углами факелов перед обычными однофакельными инжекторными форсунками, были проведены полевые производственные испытания технологической операции опрыскивания с различными форсунками (однофакельный плоскоструйный – XR8003 и AI3070). Цветовая кодировка выбрана синяя, что соответствовало производительности 1,18 литра в минуту при давлении в системе 3,0 бар. При принятой скорости движения 7 км/ч, что соответствовало норме внесения рабочего раствора 200 л/га. Проверку качества покрытия каплями имитировали, на установленной в посеве стеклоарматуре, с размещением водочувствительной бумаги по высоте стеблестоя. Качественные показатели дисперсного состава осевших капель и густота покрытия объекта обработки, определяли методом индикаторных полосок в соответствии с ГОСТ Р 53053.

Для снижения влияния человеческого фактора на точность оценки покрытия рабочим раствором индикаторных полосок обработку полученных результатов исследований проводили с помощью анализа тонового изображения капель рабочего раствора в цвето-

вом пространстве файла согласно программе для ЭВМ №2022613029 от 01.03.2022. Применение данного программного продукта позволило дать оценку графического распределения густоты покрытия по высоте стеблестоя.

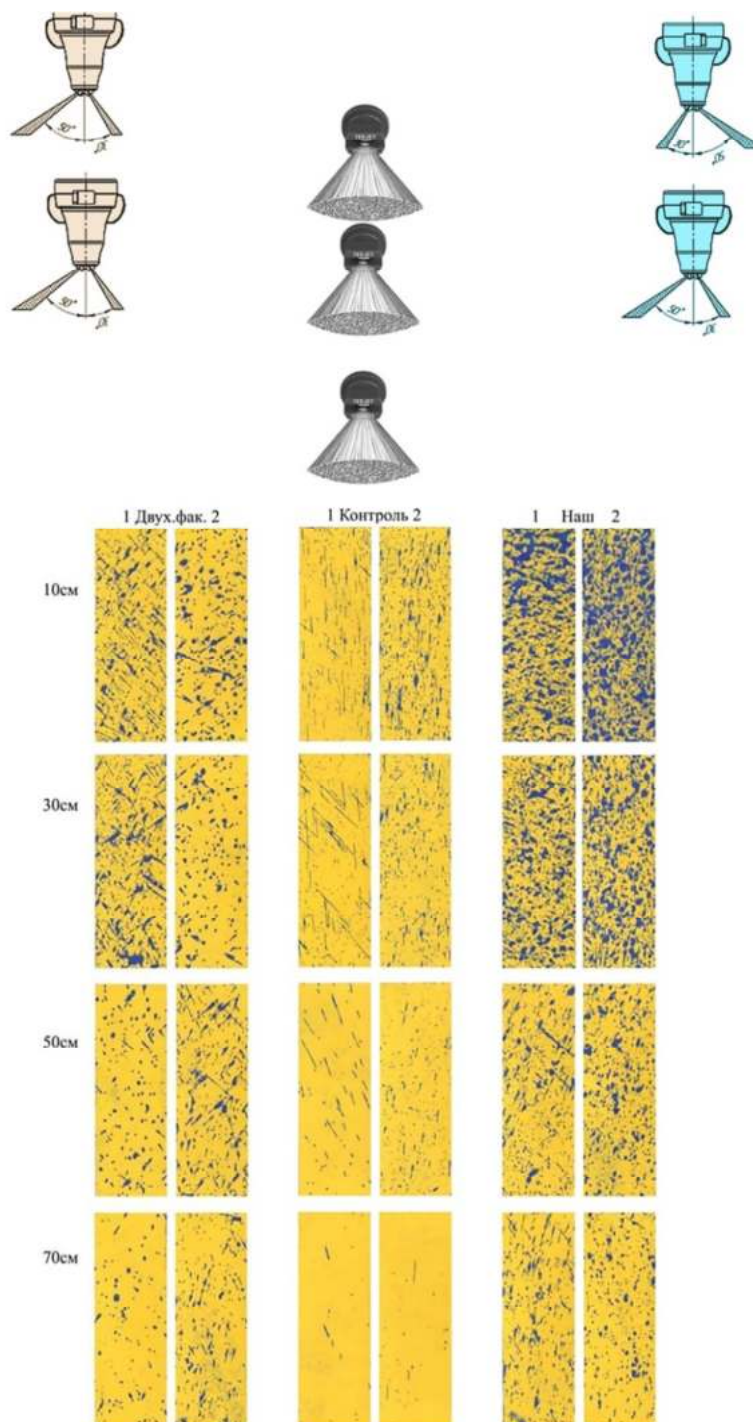


Рисунок 7 – Распределение густоты покрытия капель по высоте стеблестоя при различной технологии опрыскивания с различными распылителями: двухфакельный с асимметричными углами факелов распыла; щелевой; двухфакельный с разворотом (наш). 1 – распределение капель по ходу движения опрыскивателя, 2 – с обратной стороны

Figure 7 – Distribution of droplet coating density along the height of the stem with different spraying technology with different spray nozzles: two-flare with asymmetrical spray nozzle angles; Slit; two-flare with a turn (ours). 1 – distribution of droplets in the direction of movement of the sprayer, 2 – on the reverse side

На рисунке 8 представлены промежуточные результаты исследований влияния технологического процесса опрыскивания на качественные показатели распределения капли на различных уровнях стеблестоя в графическом изображении. Коэффициент изменения качественных показателей приведен относительно базовой технологии опрыскивания на основе щелевых распылителей для зоны 10 сантиметров через 20 сантиметров.

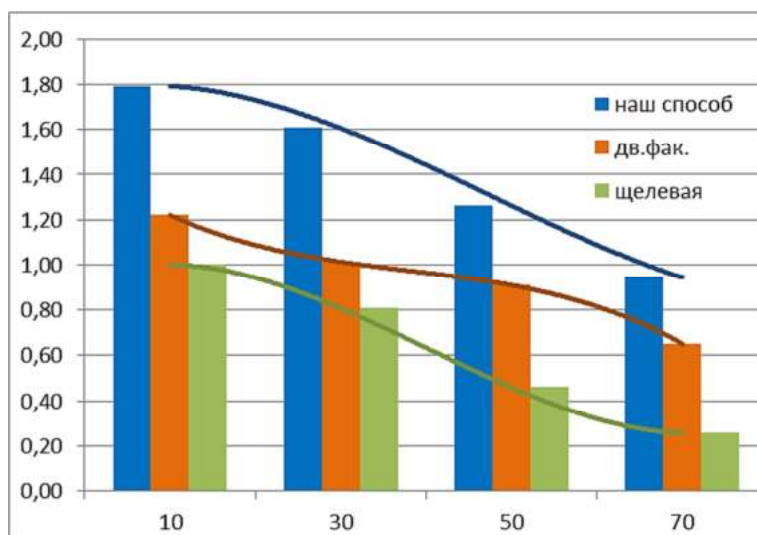


Рисунок 8 – Изменения качественных показателей распределения капли на различных уровнях стеблестоя при различном способе опрыскивания: щелевой; двухфакельный и двухфакельный с разворотом (наш)

Figure 8 – Changes in the qualitative indicators of droplet distribution at different levels of stem with different spraying methods: slot; Double-flare and double-flare with a turn (ours)

Заключение. Анализ результатов исследований показал, что применение щелевых распылителей снижает количество площади покрытия в нижней части стеблей относительно верхней в 2,90 раза. Для метода двухфакельного опрыскивания – 0,87 раза, а при расстановке форсунок по патенту РФ №№2783606 – 0,90 раза. Более существенно способ опрыскивания влияет на распределение капель по слоям. В слое 10см площадь покрытия рабочим раствором двухфакельными распылителями относительно щелевыми выше на 21,95%, а при использовании двухфакельных распылителей расставленные по «нашему» способу – на 79,27%. Соответственно по слоям: 30 см. – 20,53 и 79,88%; 50 см. – 44,92 и 80,28%; 70 см. – 39,63 и 68,70%.

Conclusions. Analysis of the research results showed that the use of slotted sprayers reduces the amount of coverage area in the lower part of the stems relative to the top by 2.90 times. For the method of two-flare spraying – 0.87 times, and for the placement of nozzles according to the patent of the Russian Federation NoNo2783606 – 0.90 times. More significantly, the method of spraying affects the distribution of droplets over the layers. In a 10 cm layer, the area covered by the working solution with two-flare sprayers is 21.95% higher by 21.95%, and when using two-flare sprayers, placed according to "our" method – by 79.27%. Respectively, by layers: 30 cm. – 20.53 and 79.88%; 50 cm – 44.92 and 80.28%; 70 cm. – 39.63 and 68.70%.

Библиографический список

1. Борисенко И. Б., Мезникова М. В., Улыбина Е. И. Научные аспекты технической модернизации опрыскивателей для химической защиты подсолнечника. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 340-349.
2. Борисенко И. Б., Мезникова М. В., Белоусов С. В. Технологический процесс полосового опрыскивания как компонент регенеративного земледелия при возделывании пропашных культур. Научный журнал КубГАУ. 2021. № 174 (10). С. 26-42.
3. Бородычев В. В., Новиков А. Е., Филимонов М. И. и др. Исследование насадки с малозероэнергоёмким искусственным дождем. Научная жизнь. 2016. № 2. С. 50-57.
4. Киреев И. М., Коваль З. М., Зимин Ф. А., Данилов М. В. Щелевой распылитель жидкости в технологии опрыскивания растений. Техника и оборудование для села. 2022. № 9 (303). С. 12-14.

5. Пикушова Э. А., Шадрина Л. А., Веретельник Е. Ю. Фитосанитарное состояние агроценоза озимой пшеницы в условиях длительного стационарного полевого опыта на черноземе выщелоченном западного Предкавказья. Научный журнал КубГАУ. 2018. № 137 (03).
6. Сорокин А. Е. Качество продукции яровых зерновых культур в зависимости от технологии их возделывания. Плодородие. 2010. № 2. С. 15-16.
7. Larras F., Charles S., Chaumot A., Pelosi C., Le Gall M., Mamy L., Beaudouin R. A critical review of effect modeling for ecological risk assessment of plant protection products. Environmental Science and Pollution Research. 2022. V. 29. № 29. Pp. 43448-43500.
8. Meznikova M. V., Borisenko I. B., Chamurliov O. G., Ulybina E. I., Romenskaya O. N. Innovative method of strip-till 3-D spraying in chemical treatment of crops to implement resource-saving approaches in strip-till technology. Biological Technologies in Agriculture: from Molecules to Ecosystems. 2021. V. 839. 042043.
9. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2020 году: доклад. Ижевск: ООО «Принт», 2021. 300 с.
10. Иванов А. Ю., Дурманов Н. Д. Битва за климат: Углеродное фермерство как ставка России. Москва: Издательство Высшей школы экономики, 2021.
11. Башкирев А. П., Шварц А. А., Шкабенко А. Ю. Анализ работы полевых опрыскивателей. Наука в центральной России. 2019. № 6 (42). С. 50-58.
12. Shahrooz M., Talaeizadeh A., Alasty A. Agricultural spraying drones: advantages and disadvantages. Virtual Symposium in Plant Omics Sciences, OMICAS 2020 – Conference Proceedings. 2020.

References

1. Borisenko I. B., Meznikova M. V., Ulybina E. I. Scientific Aspects of Technical Modernization of Sprayers for Chemical Protection of Sunflower. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. № 4 (60). Pp. 340-349.
2. Borisenko I. B., Meznikova M. V., Belousov S. V. Technological Process of Strip Spraying as a Component of Regenerative Agriculture in the Cultivation of Row Crops. Scientific journal of the KubSAU. 2021. № 174 (10). Pp. 26-42.
3. Borodychev V. V., Novikov A. E., Filimonov M. I., et al. Study of a nozzle with low-energy intensive artificial rain. Scientific life. 2016. № 2. Pp. 50-57.
4. Kireev I. M., Koval Z. M., Zimin F. A., Danilov M. V. Slotted Liquid Sprayer in Plant Spraying Technology. Machinery and equipment for the village. 2022. № 9 (303). Pp. 12-14.
5. Pikushova E. A., Shadrina L. A., Veretelnik E. Y. Phytosanitary state of winter wheat agrocenosis under conditions of long-term stationary field experiment on leached chernozem of the western Ciscaucasia. Scientific journal of the KubSAU. 2018. № 137 (03).
6. Soroikin A. E. Quality of Spring Grain Crops Production Depending on the Technology of Their Cultivation. Fertility. 2010. № 2. Pp. 15-16.
7. Larras F., Charles S., Chaumot A., Pelosi C., Le Gall M., Mamy L., Beaudouin R. A critical review of effect modeling for ecological risk assessment of plant protection products. Environmental Science and Pollution Research. 2022. V. 29. № 29. Pp. 43448-43500.
8. Meznikova M. V., Borisenko I. B., Chamurliov O. G., Ulybina E. I., Romenskaya O. N. Innovative method of strip-till 3-D spraying in chemical treatment of crops to implement resource-saving approaches in strip-till technology. Biological Technologies in Agriculture: from Molecules to Ecosystems. 2021. V. 839. 042043.
9. On the state of the environment of the Volgograd region in 2020: report. Izhevsk: ООО Print, 2021. 300 p.
10. Ivanov A. Yu., Durmanov N. D. Battle for the Climate: Carbon Farming as a Bet of Russia. Moscow: Higher School of Economics Publ., 2021.
11. Bashkirev A. P., Schwartz A. A., Shkabenko A. Yu. Science in Central Russia. 2019. № 6 (42). Pp. 50-58.
12. Shahrooz M., Talaeizadeh A., Alasty A. Agricultural spraying drones: advantages and disadvantages. Virtual Symposium in Plant Omics Sciences, OMICAS 2020 – Conference Proceedings. 2020.

Информация об авторах

Борисенко Иван Борисович, доктор технических наук, главный научный сотрудник кафедры «Земледелие и агрохимия», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26).

Роменская Ольга Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие и агрохимия» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26).

Сидоров Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник НИИ Центра инновационных агробиотехнологий в системе органического и точного земледелия, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26).

Холод Анатолий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник НИИ Центра инновационных агробиотехнологий в системе органического и точного земледелия, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26).

Дадыкина Мария Сергеевна, магистрант агробиотехнологического факультета, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26).

Author's Information

Borisenko Ivan Borisovich, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Romenskaya Olga Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Sidorov Aleksander Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Research Institute of the Center for Innovative Agrobiotechnologies in the System of Organic and Precision Farming, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Kholod Anatoliy Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Research Institute of the Center for Innovative Agrobiotechnologies in the System of Organic and Precision Farming, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Dadykina Maria Sergeevna, Master's Degree Student, Faculty of Agrobiotechnology, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-38

DYNAMICS OF THE CULTIVATOR RACK WITH SPRING FUSES**Gapich D. S., Kaplya E. V., Chernousov P. S., Gubaidulin D. S.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: gds-08@mail.ru

Received 15.04.2024

Submitted 20.05.2024

Summary

The elastic structure of the cultivator section generates vibrations due to uneven traction and heterogeneity of the soil. In the article presents the results of a study of forced vibrations of the stand of a modern cultivator as a result of the action of the soil resistance force.

Abstract

The forced vibrations of the stand of a modern cultivator as a result of the action of the soil resistance force are investigated. A graph of the spectral density modulus of the disturbing moment created by the soil resistance force is constructed. The spectral density graph contains two explicit maxima. The frequencies corresponding to these maxima are determined. The numerical solution of the differential equation of vibrations of the cultivator rack with spring fuses is performed. Graphs of the dependence of the rotation angle and angular velocity of the cultivator's paw on time are constructed. Phase trajectories corresponding to experimental samples of disturbing effects on the cultivator's paw are constructed.

Keywords: *cultivators, cultivator rack, cultivator leg, forced oscillations of the rack, soil destruction by working tools, self-oscillations of the working body.*

Citation. Gapich D. S., Kaplya E. V., Chernousov P. S. Dynamics of the cultivator rack with spring fuses. *Proc. of the Lower Volga Agro University Comp.* 2024. 3(75). 330-339 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-38.

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 629.114.2-585

ДИНАМИКА СТОЙКИ КУЛЬТИВАТОРА С ПРУЖИННЫМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

Гапич Д. С., доктор технических наук, профессор
Капля Е. В., кандидат физико-математических наук, доцент
Черноусов П. С., аспирант
Губайдулин Д. С., аспирант

*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Исследованы вынужденные колебания стойки современного культиватора в результате действия силы сопротивления почвы. Построен график модуля спектральной плотности возмущающего момента, создаваемого силой сопротивления почвы. График спектральной плотности содержит два явно-выраженных максимума. Определены частоты, соответствующие этим максимумам. Выполнено численное решение дифференциального уравнения колебаний стойки культиватора с пружинными предохранителями. Построены графики зависимости угла поворота и угловой скорости лапы культиватора от времени. Построены фазовые траектории, соответствующие экспериментальным выборкам возмущающих воздействий на лапу культиватора.

Ключевые слова: культиваторы, стойка культиватора, лапа культиватора, вынужденные колебания стойки, разрушение почвы рабочими органами, автоколебания рабочего органа.

Цитирование. Гапич Д. С., Капля Е. В., Черноусов П. С., Гуйбадулин Д. С. Динамика стойки культиватора с пружинными предохранителями. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 330-339. DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-38.

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. Культиваторы, снабжённые рабочими органами в форме стрелчатых лап [1-5], остаются наиболее эффективными типами культиваторов. С целью обработки тяжёлых и каменистых почв такие культиваторы всегда оснащаются [3-5] пружинными предохранителями (или предохранительными механизмами), предупреждающими поломки лап с жёсткими стойками.

Коэффициент упругого сопротивления почвы зависит, прежде всего, от коэффициента уплотнения почвы, а коэффициент вязкого сопротивления почвы – от влажности почвы [6]. Коэффициент внутреннего трения почвы нелинейно убывает с ростом линейного ускорения кромки лезвия культиватора. Зависимость коэффициента внутреннего трения от линейного ускорения кромки лезвия культиватора имеет нелинейный вид.

Тяговое сопротивление мелиоративных почвообрабатывающих орудий уменьшается с ростом влажности почвы. Тяговое сопротивление мелиоративных почвообрабатывающих орудий при обработке почвы, имеющей высокую влажность – 70-80%, от ее наименьшей влагоёмкости, на 22-28% меньше, чем при рыхлении переуплотненных и пересушенных почв. Наименьшая влагоёмкость (НВ) – максимально возможное количество капиллярно-подвешенной влаги, которое способна удержать почва в полевых условиях, при промачивании её сверху, после стекания свободной (гравитационной) воды.

Движение рабочего органа культиватора в сухой глинистой почве сопровождается двумя чередующимися процессами: нарастанием механического напряжения и резким его уменьшением в результате разрушения кусков почвы (твёрдой фазы почвы). Искусственный генератор вибрации рабочего органа культиватора может способствовать разрушению кусков почвы. Поиск оптимального сочетания частоты и амплитуды искусственных вынужденных колебаний лапы культиватора – актуальная задача. Поиск оптимальной частоты искусственных вынужденных колебаний лапы культиватора – актуальная задача.

Применяемые орудия для обработки почвы, как правило, содержат пассивные рабочие органы, не обеспечивающие оптимальных качественных и энергетических показателей процесса крошения почвы. Введение в конструкцию почвообрабатывающих рабочих органов дополнительных упругих звеньев, а также различных виброударных элементов [7-12] позволяет обеспечить оптимальные режимы осуществления технологического процесса.

Цель работы: Исследование вынужденных колебаний стойки культиватора Bourgault 8810 со стрелчатыми лапами и пружинными предохранителями. Анализ характеристик вынужденных колебаний стойки культиватора со стрелчатой лапой.

Материалы и методы. Объектом исследований является одиночная секция культиватора Bourgault 8810. Каждая секция этого культиватора состоит из С-образной стойки, двух цилиндрических пружин с варьируемой жёсткостью, шарнира и стрелчатой культиваторной лапы. Конструкция подпружиненной стойки одной секции этого культиватора с лапой показана на рисунке 1. Стрелчатая лапа закреплена на упругой стойке посредством болтового соединения.

С целью экспериментального исследования колебаний стойки культиватора под действием силы сопротивления почвы использован тензорезистивный датчик усилия КФ5П1-10-100-А-12. Этот тензорезистор имеет толщину 0.06 ± 0.020 мм и содержит чувствительный элемент из константовой фольги. Механическое воздействие на тензорезистор вызывает изменение электрического сопротивления чувствительного элемента. Тензорезистивный датчик установлен в области крепления стойки культиватора к шарниру рамы.

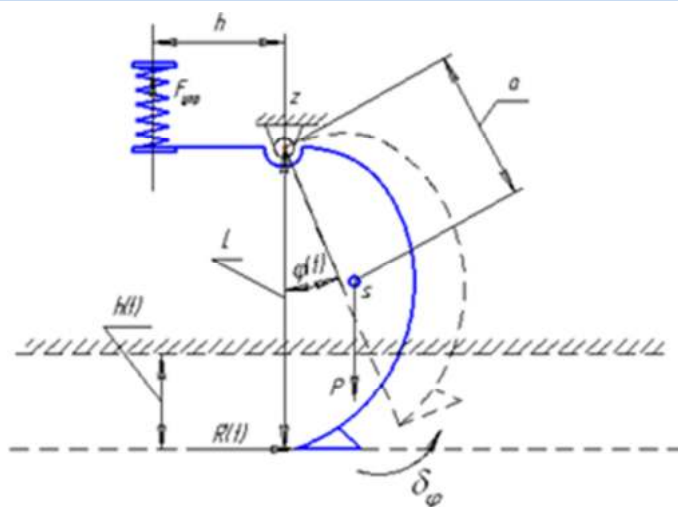


Рисунок 1 – Схема стойки культиватора Bourgault 8810 (вид сбоку):

P – сила тяжести культиваторной стойки, H ; $F_{упр}$ – сила упругости пружины, H ;

$\vec{R}(t)$ – результирующая сила сопротивления почвы, H ;

a – расстояние от шарнира до центра масс, m

Figure 1 – The scheme of the cultivator rack Bourgault 8810 (side view):

P – Gravity of the cultivator rack, N ; $F_{упр}$ – spring elasticity force, N ;

$\vec{R}(t)$ – the resulting soil resistance force, N ;

a – the distance from the hinge to the center of mass, m

В процессе движения культиватора возникают вынужденные колебания лапы культиватора относительно оси подвеса (оси Oz). Колебания стойки культиватора характеризуются малой амплитудой, поэтому процесс колебаний можно описать линейным дифференциальным уравнением второго порядка. Дифференциальное уравнение колебаний стойки культиватора, совершающей вынужденные колебания относительно оси подвеса, имеет вид:

$$\frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) + 2 \cdot \xi \cdot \frac{d}{dt} \varphi(t) + k_0^2 \cdot \varphi(t) = \frac{M(t)}{J_z}, \quad (1)$$

где: $\varphi(t)$ – угол поворота стойки культиватора относительно оси подвеса, $рад/с$;

$\xi = \frac{\eta}{2 \cdot m}$ – коэффициент затухания колебаний секции культиватора, $Гц$;

η – коэффициент линейного вязкого сопротивления почвы, $H \cdot c/m = кг/с$;

m – масса рабочего органа, $кг$; k_0 – циклическая (круговая) частота собственных колебаний рабочего органа относительно оси подвеса (собственная частота культиваторной стойки), $рад/с$; $M(t)$ – абсолютная величина возмущающего момента силы сопротивления почвы перед лапой культиватора, $H \cdot м$; $M(t) = R(t) \cdot L$; L – расстояние от режущего конца (носа) лапы культиватора до оси подвеса (оси Oz), $м$; $R(t)$ – результирующая сила сопротивления почвы, равная горизонтальной составляющей тягового сопротивления, H ; J_z – осевой момент инерции культиваторной секции относительно оси подвеса (Oz), $кг \cdot м^2$.

Собственную частоту культиваторной стойки и в общем случае механической упругой системы определяют известной формулой:

$$k_0 = \sqrt{c_{пр}/m}, \quad (2)$$

где $c_{пр}$ – приведенная жесткость системы, Н/м, представляемая формулой:

$$c_{пр} = \frac{(2 \cdot \pi \cdot \lambda)^2 \cdot (J_z - m \cdot a^2) - m \cdot g \cdot a}{h^2}, \quad (3)$$

где λ – частота вынужденных колебаний, определенная по спектральной плотности горизонтальной составляющей тягового сопротивления рабочего органа; a – расстояние от оси подвеса до центра масс рассматриваемой системы (стойки культиватора с лапой).

Секция культиватора Bourgault 8810 характеризуется следующим набором параметров: $m = 16.5 \text{ кг}$, $J_z = 2.7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $\lambda = 14.8 \text{ Гц}$, $a = 0.4 \text{ м}$, $h = 0.18 \text{ м}$, $L = 0.640 \text{ м}$. В этом случае приведенная жесткость системы согласно формуле (3) равна $c_{пр} \approx 14 \cdot 10^3 \text{ кг/с}^2 = 14 \text{ кН/м}$.

Коэффициент вязкого сопротивления почвы имеет величину $80 < \eta < 184 \text{ кг/с}$ в зависимости от типа почвы и её влажности. Указанному интервалу соответствует диапазон значений коэффициента затухания колебаний секции культиватора $2.45 < \xi < 5.6 \text{ Гц}$.

Результаты и обсуждение. Полевой эксперимент проведён в соответствии со стандартными агротехническими требованиями, предъявляемыми к эксплуатации культиватора Bourgault 8810 на территории УНПЦ “Горная поляна” Волгоградского государственного аграрного университета. Известно, что тяговое сопротивление имеет квадратичную зависимость от глубины рыхления, поэтому в ходе эксперимента глубина рыхления была постоянной.

Величина возмущающего момента $M(t)$, создаваемого силой сопротивления почвы, измерена с помощью тензометрического датчика, размещённого в области крепления стойки к шарниру рамы. Момент $M(t)$ измерен в дискретные моменты времени: $t_q = t_0 + q \cdot \Delta t$, где $t_0 = 0$; $\Delta t = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; $q = 0, 1, \dots, (N-1)$. Объём экспериментальной выборки $N = 32351$. В результате измерений получена дискретная последовательность $M_q = M(t_q)$. Динамика возмущающего момента показана на рисунке 2.

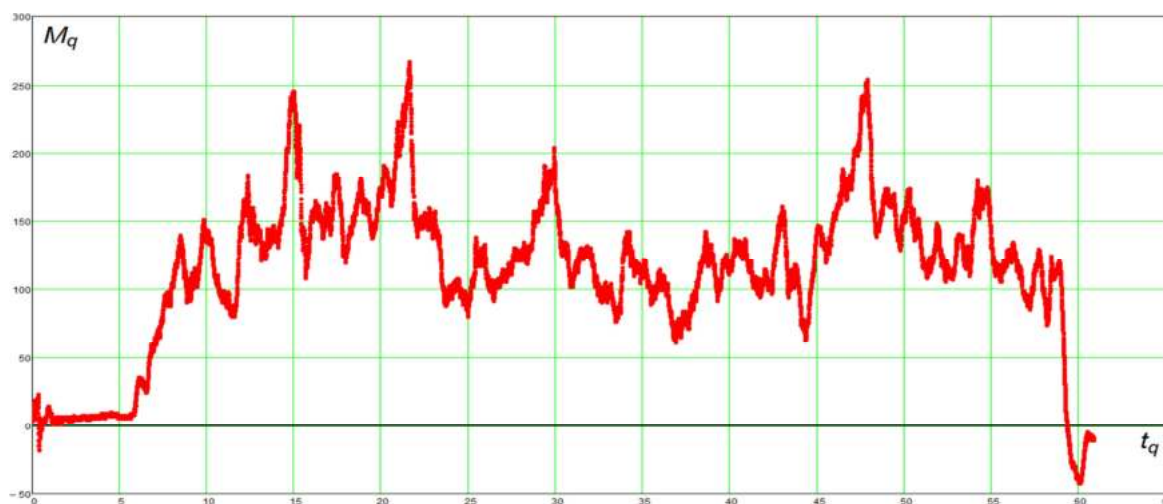


Рисунок 2 – График зависимости возмущающего момента от времени
Figure 2 – Graph of the dependence of the disturbing moment on time

Спектральная плотность возмущающего момента M_q вычислена на основе экспериментальной выборки с помощью известной формулы:

$$S_n = \sum_{q=0}^{N-1} \left[M_q \cdot \exp \left(-j \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot n \cdot q \right) \right], \quad (4)$$

где S_n – спектральная плотность возмущающего момента сил, действующих на стойку культиватора со стороны почвы; $n = 0, 1, \dots, (N-1)$; $j \equiv \sqrt{-1}$.

Спектральную плотность представим комплексной функцией циклической частоты ω_n , которая принимает дискретные значения:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{N} \cdot n, \quad (5)$$

где $n = 0, 1, \dots, (N-1)$.

Зависимость модуля спектральной плотности $A(\omega_n) = |S(\omega_n)|$ возмущающего момента от циклической частоты показана в виде графика на рисунке 3. Зависимость $A(\omega_n)$ имеет два явно выраженных максимума. Циклические частоты 0.346 рад/с и 0.693 рад/с, обозначенные на рисунке 3, соответствуют 0.055 Гц и 0.110 Гц.

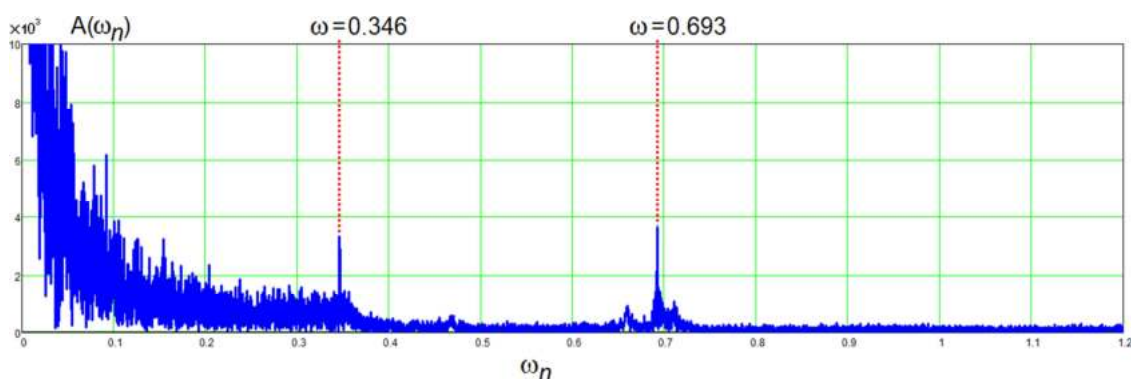


Рисунок 3 – График модуля спектральной плотности возмущающего момента
Figure 3 – Graph of the spectral density modulus of the disturbing moment

Дифференциальное уравнение (1) решим численно, используя метод разностной аппроксимации. Проведём дискретизацию величин. В уравнении (1) непрерывную функцию $\varphi(t)$ заменим дискретной последовательностью, элементы которой $\psi_q \approx \varphi(t_q)$.

Производные первого и второго порядков (угловую скорость и угловое ускорение) можно представить выражениями:

$$\left(\frac{d\varphi}{dt} \right)_q \approx \frac{\psi_q - \psi_{q-1}}{\Delta t}, \quad (6)$$

$$\left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right)_q \approx \frac{\psi_{q+1} - 2 \cdot \psi_q + \psi_{q-1}}{\Delta t^2}. \quad (7)$$

В результате разностной аппроксимации производных (6) и (7) дифференциальное уравнение (1) приводит к разностной схеме:

$$\frac{\psi_{q+1} - 2 \cdot \psi_q + \psi_{q-1}}{\Delta t^2} + 2 \cdot \xi \cdot \frac{\psi_q - \psi_{q-1}}{\Delta t} + k_0^2 \cdot \psi_q = \frac{M_q}{J_z}. \quad (8)$$

Решив уравнение (8) относительно ψ_{q+1} , получим рекуррентную формулу:

$$\psi_{q+1} = \left(\frac{M_q}{J_z} - k_0^2 \cdot \psi_q \right) \cdot \Delta t^2 - 2 \cdot \xi \cdot (\psi_q - \psi_{q-1}) \cdot \Delta t + 2 \cdot \psi_q - \psi_{q-1}. \quad (9)$$

После раскрытия скобок и перегруппировки слагаемых формула (9) приводит к другому виду:

$$\psi_{q+1} = \psi_q \cdot (2 \cdot (1 - \xi \cdot \Delta t) - k_0^2 \cdot \Delta t^2) + \psi_{q-1} \cdot (2 \cdot \xi \cdot \Delta t - 1) + \frac{M_q}{J_z} \cdot \Delta t^2 \quad (10)$$

Величина ψ_{q+1} определяется значениями ψ_q и ψ_{q-1} рекуррентными зависимостями (9) и (10). Для применения формул (9) и (10) необходимо указать начальные условия: ψ_0 и ψ_1 . Величина $\psi_0 = \varphi(t_0)$ – начальная фаза колебаний. Пусть $\psi_0 = \psi_1 = 0$. Применяя рекуррентную формулу (10), в процессе рекурсии определяем угловое положение стойки в последующие моменты времени. Количество шагов (итераций) примем равным объёму N экспериментальной выборки момента. Результаты расчетов углового положения стойки для выбранных начальных условий представлены на рисунке 4.

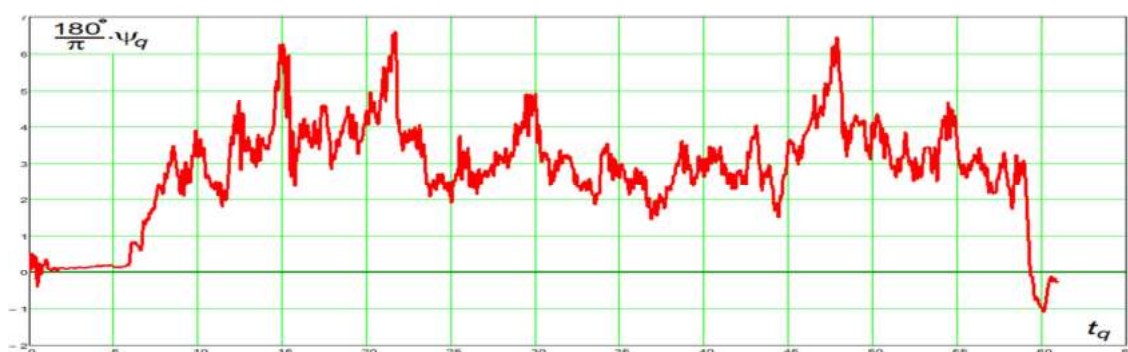


Рисунок 4 – График зависимости угла (в градусах) поворота лапы от времени
Figure 4 – Graph of the dependence of the angle (in degrees) of the paw rotation on time

Модуль угловой скорости на каждом шаге определяется производной угла поворота по времени. Эта производная приближённо вычисляется с помощью конечно-разностного отношения:

$$\omega_q = \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)_q \approx \frac{\psi_q - \psi_{q-1}}{\Delta t} \quad (11)$$

Процесс изменения угловой скорости лапы показан на рисунке 5.

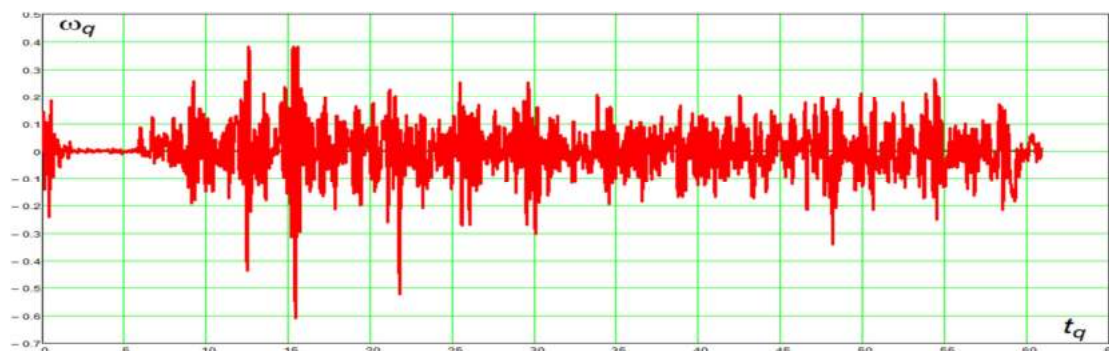


Рисунок 5 – График зависимости угловой скорости лапы (в рад/с) от времени
Figure 5 – Graph of the dependence of the angular velocity of the paw (in rad/s) on time

Модуль горизонтальной составляющей углового ускорения секции культиватора на каждом шаге определяется производной модуля угловой скорости секции по времени. Эту производную приближённо представим в виде конечно-разностного отношения:

$$\varepsilon_q = \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_q \approx \frac{\omega_q - \omega_{q-1}}{\Delta t} \quad (12)$$

Процесс изменения модуля горизонтальной составляющей углового ускорения секции показан на рисунке 6.

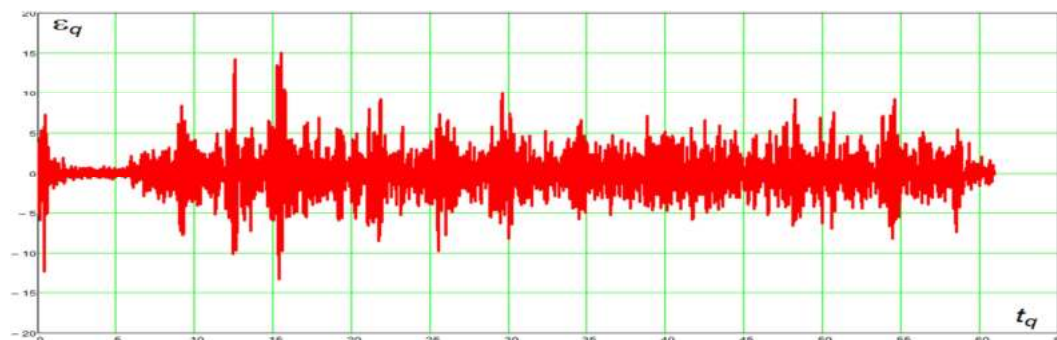


Рисунок 6 – График зависимости углового ускорения от времени
Figure 6 – Graph of the dependence of angular acceleration on time

Фазовые траектории, соответствующие экспериментальным выборкам возмущающих воздействий на лапу культиватора, представлены на рисунке 7 и рисунке 8. Начало обеих фазовых траекторий расположено в начале координат.

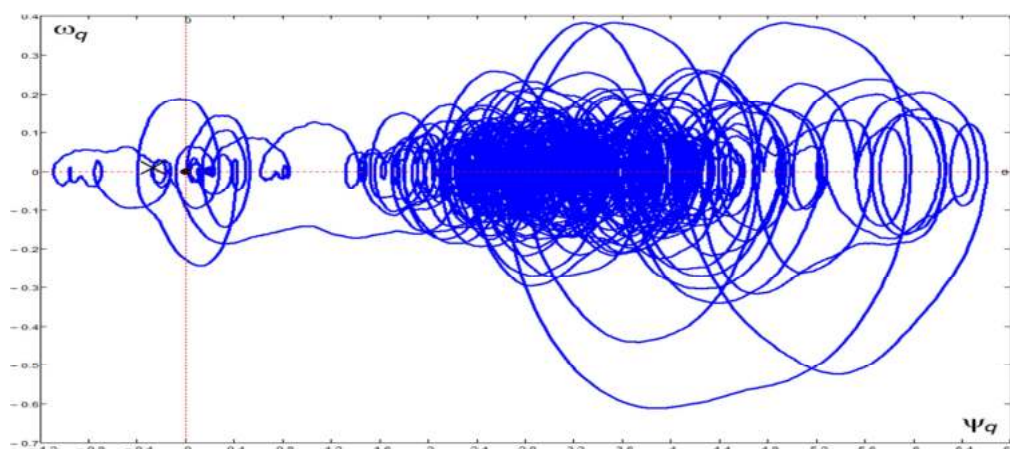


Рисунок 7 – Фазовая траектория в плоскости $\psi \omega$ (угол поворота в радианах – угловая скорость в рад/с)
Figure 7 – The phase trajectory in the plane $\psi \omega$ (the angle of rotation in radians is the angular velocity in rad/s)

Концы фазовых траекторий, отмеченные на рисунках 7 и 8 символом «x», соответствуют полной остановке трактора. Близость концов фазовых траекторий к началу координат, подтверждает корректность численного решения дифференциального уравнения (1) колебаний стойки культиватора. Концы фазовых траекторий не совпадают с началом координат по двум причинам:

1) Имеют место остаточные нагрузки на стойку культиватора со стороны почвы, в которой осталась нижняя часть лапы культиватора. В конце фазовой траектории остаётся деформация секции культиватора. Эта деформация характеризуется угловым смещением лапы культиватора относительно исходного ненапряжённого состояния.

2) В процессе рекуррентных вычислений углового положения стойки с помощью формул (9) или (10) происходит накопление погрешности аппроксимации производных конечными разностями.

Сложная форма фазовых траекторий является следствием неравномерности и непериодичности возмущающих воздействий, что вызвано непостоянством тягового усилия и неоднородностью почвы. Каждая из фазовых траекторий имеет близкорасположенные концы. Расстояние между концами значительно меньше размеров петель фазовых траекторий, что свидетельствует об устойчивости рассмотренной механической системы.

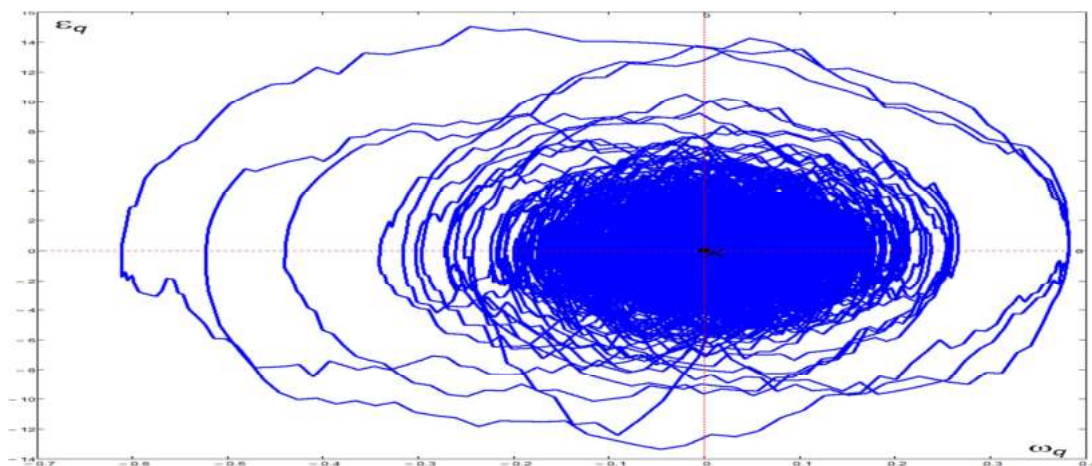


Рисунок 8 – Фазовая траектория в плоскости $\omega O \varepsilon$ (угловая скорость в рад/с – угловое ускорение в рад/с²)

Figure 8 – The phase trajectory in the plane $\omega O \varepsilon$ (angular velocity in rad/s – angular acceleration in rad/s²)

Линейное ускорение лезвия лапы культиватора пропорционально угловому ускорению: $a_q = \varepsilon_q \cdot L$. График зависимости линейного ускорения (в м/с²) лезвия лапы культиватора от времени представлен на рисунке 9.

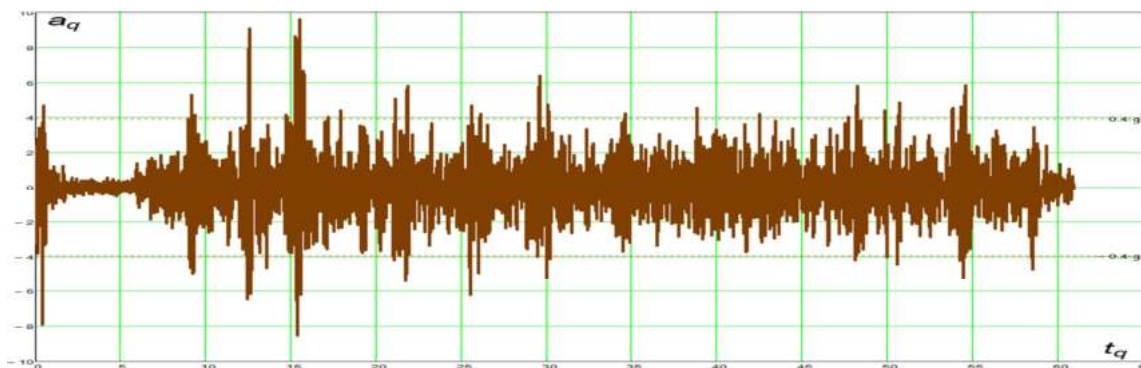


Рисунок 9 – Зависимость линейного ускорения лезвия лапы культиватора от времени

Figure 9 – Dependence of the linear acceleration of the cultivator's paw blade on time

Наибольшая абсолютная величина линейного ускорения не превышает 10^{-2} м/с^2 . Известно [13], что скол самых крепких кусков сухой глинистой почвы происходит, когда линейное ускорение лезвия лапы культиватора достигает величины $0.4 \cdot g \approx 3.924 \text{ м/с}^2$. Вычисленные и показанные на рисунке 9 линейные ускорения иногда превышают это пороговое значение ускорения лезвия лапы культиватора. Эффективная культивация тяжёлой сухой почвы затруднена из-за высоких прочностных характеристик почвы.

Выводы. Исследованы вынужденные колебания стойки современного культиватора Bourgault 8810 с пружинными предохранителями. На основе экспериментальной выборки определена спектральная плотность возмущающего момента, создаваемого силой сопротивления почвы. Построен график модуля спектральной плотности, который содержит два явно выраженных максимума, наблюдаемых при циклических частотах 0.346 рад/с и 0.693 рад/с , что соответствует 0.055 Гц и 0.110 Гц . Упругая конструкция секции культиватора генерирует колебания за счёт неравномерности (непостоянства) тягового усилия и неоднородности почвы.

В статье выполнено численное решение дифференциального уравнения колебаний стойки культиватора для угла поворота стойки культиватора относительно оси подвеса. В результате численного дифференцирования определены угловые скорости и ускорения для последовательных моментов времени. Построены графики зависимости угла поворота, угловой скорости и углового ускорения лапы культиватора от времени.

Возмущающее воздействие почвы на лапу культиватора при стандартных агротехнических условиях не способно сгенерировать такие колебания лапы культиватора, при которых линейное ускорение лезвия лапы культиватора достигает величины $0.4 \cdot g$, при которой происходит скол большинства кусков сухой глинистой почвы.

В статье построены фазовые траектории, соответствующие экспериментальным выборкам возмущающих воздействий на лапу культиватора. Близость концов фазовых траекторий к началу координат подтверждает корректность численного решения дифференциального уравнения колебаний стойки культиватора.

Conclusions. Forced oscillations of the rack of a modern cultivator Bourgault 8810 with spring fuses are investigated. On the basis of experimental sampling, the spectral density of the perturbing moment created by the soil resistance force was determined. A graph of the modulus of spectral density is constructed, which contains two pronounced maxima observed at cyclic frequencies of 0.346 rad/s and 0.693 rad/s, which corresponds to 0.055 Hz and 0.110 Hz. The elastic design of the cultivator section generates vibrations due to the unevenness (inconstancy) of the traction force and the heterogeneity of the soil.

In the article, a numerical solution of the differential equation of oscillations of the cultivator rack for the angle of rotation of the cultivator rack relative to the suspension axis is performed. As a result of numerical differentiation, angular velocities and accelerations for successive moments of time are determined. Graphs of the dependence of the angle of rotation, angular velocity and angular acceleration of the cultivator share on time are constructed.

The disturbing effect of the soil on the cultivator foot under standard agrotechnical conditions is not able to generate such oscillations of the cultivator share at which the linear acceleration of the cultivator foot blade reaches the value of $0.4g$ in which most pieces of dry clay soil are chipped.

The article constructs phase trajectories corresponding to experimental samples of perturbing effects on the cultivator's paw. The proximity of the ends of the phase trajectories to the origin confirms the correctness of the numerical solution of the differential equation of oscillations of the cultivator strut.

Библиографический список

1. Камбулов С. И., Бабенко О. С., Божко И. В. Технологический процесс рыхления почвы плоскорезу-щей лапой и стойкой. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4 (40). С. 241-255.
2. Бабицкий Л. Ф., Москалев В. Ю., Белов А. В. и др. Обоснование параметров рабочего органа культиватора с упругим креплением лапы. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 34 (197). С. 71-80.
3. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Обоснование оптимальных режимов работы культиваторных лап на виброударной подвеске. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3 (58). С. 69-73.
4. Kravchenko L., Chayka Y., Zhurba V. Optimization of the parameters of the spring rack of the cultivator. BIO Web of Conferences. 2023. V. 65. 01001.
5. Buryanov A. I., Ignatenko V. I., Ignatenko I. V., Vyalikov I. L. Experimental study of reclining the cultivator's paws on spring racks. MATEC Web Conf. 2018. V. 226. 01029.
6. Тюремнов И. С., Морев А. С., Филатов И. С., Новичихин А. А., Федотова И. Н. К вопросу об определении численных значений коэффициентов упругого и вязкого сопротивления грунта при реологическом моделировании. Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. Пермь: ПНИПУ. 2014. № 1. С. 381-437.
7. Устинов Н. Н., Поддубный В. И., Мартыненко А. С. Механико-математическая модель рабочего органа культиватора для определения тягового сопротивления при действии вибрации. Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 3. С. 28-31.
8. Анутов Р. М., Котельников В. Я., Козьявин А. А. и др. Автоколебания жестких рабочих органов культиватора. Современные наукоемкие технологии. 2013. № 2. С. 11-13.
9. Анутов Р. М., Котельников В. Я., Козьявин А. А. и др. Автоколебания и снижение резонансных нагрузок самоустанавливающихся рабочих органов культиватора. Современные наукоемкие технологии. 2013. № 1. С. 10-12.
10. Singh H., Mehta M. Modeling, simulation and optimization of agricultural tillage process vibrations using an interactive active control system. E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 430. P. 01284.
11. Cardei P., Constantin N., Muraru V., et al. The random vibrations of the active body of the cultivators. Agriculture. 2023. Vol. 13. No 8. P. 1565.
12. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А., Турин Е. Н. Обоснование конструктивных параметров маятникового ударного механизма рабочих органов стернового культиватора. Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1 (29). С. 8-16.
13. Гапич Д. С., Швабауэр Ю. А., Субботин С. И., Губайдулин Д. С. Снижение тягового сопротивления чизельных орудий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее проф. образование. 2023. № 4 (56). С. 398-409.

References

1. Kambulov S. I., Babenko O. S., Bozhko I. V. Technological process of loosening soil with a flat-cutting paw and a post. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. № 4 (40). Pp. 241-255.

2. Babitsky L. F., Moskalevich V. Yu., Belov A. V., et al. Substantiation of the parameters of the cultivator's working body with elastic attachment of the share. *Proceedings of Agricultural Science of Tavrida*. 2023. № 34 (197). Pp. 71-80.
3. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Substantiation of Optimal Modes of Operation of Cultivator Shares on a Vibroshock Suspension. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2017. № 3 (58). Pp. 69-73.
4. Kravchenko L., Chayka Y., Zhurba V. Optimization of the parameters of the spring rack of the cultivator. *BIO Web of Conferences*. 2023. V. 65. 01001.
5. Buryanov A. I., Ignatenko V. I., Ignatenko I. V., Vyalikov I. L. Experimental study of reclining the cultivator's paws on spring racks. *MATEC Web Conf*. 2018. V. 226. 01029.
6. Tyuremnov I. S., Morev A. S., Filatov I. S., Novichikhin A. A., Fedotova I. N. On the Issue of Determining the Numerical Values of the Coefficients of Elastic and Viscous Resistance of the Soil in Rheological Modeling. *Ecology and scientific and technological progress. Urbanism*. Perm: PNRPU. 2014. № 1. Pp. 381-437.
7. Ustinov N. N., Poddubny V. I., Martynenko A. S. Mechanical and Mathematical Model of the Cultivator Working Body for Determining the Traction Resistance under the Action of Vibration. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2017. T. 31. № 3. Pp. 28-31.
8. Anutov R. M., Kotelnikov V. Ya., Kozyavin A. A., et al. Self-oscillations of rigid cultivator working bodies. *Modern high-tech technologies*. 2013. № 2. Pp. 11-13.
9. Anutov R. M., Kotelnikov V. Ya., Kozyavin A. A., et al. Self-oscillations and reduction of resonance loads of self-aligning cultivator working bodies. *Modern high-tech technologies*. 2013. № 1. Pp. 10-12.
10. Singh H., Mehta M. Modeling, simulation and optimization of agricultural tillage process vibrations using an interactive active control system. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 430. P. 01284.
11. Cardei P., Constantin N., Muraru V., et al. The random vibrations of the active body of the cultivators. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. No 8. P. 1565.
12. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Turin E. N. Substantiation of Design Parameters of the Pendulum Impact Mechanism of the Working Bodies of a Stubble Cultivator. *Taurida Bulletin of Agrarian Science*. 2022. № 1 (29). Pp. 8-16.
13. Gapich D. S., Schwabauer Y. A., Subbotin S. I., Gubaidulin D. S. Reducing the traction resistance of chisel guns. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2023. № 4 (56). Pp. 398-409.

Информация об авторах

Гапич Дмитрий Сергеевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: gds-08@mail.ru

Капля Егор Викторович, доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: ev-kaple@yandex.ru

Черноусов Павел Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26).

Губайдулин Данияр Саматович, аспирант кафедры "Электроснабжение и энергетические системы", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Author's Information

Gapich Dmitry Sergeevich, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: gds-08@mail.ru

Kaplya Egor Viktorovich, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: ev-kaple@yandex.ru

Chernousov Pavel Sergeevich, postgraduate student of the Volgograd State Agrarian University, senior lecturer of the Department of Power Supply and Energy Systems of the Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26).

Gubaidulin Daniyar Samatovich, postgraduate student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39

MODULAR AGGREGATION OF POWER CONVERTERS OF MOBILE POWER SYSTEMS

Grigorash O. V., Daus Yu. V., Kvitko A. V., Baryshev P. M.

*Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: zirochka3011@gmail.com

Received 01.03.2024

Submitted 19.04.2024

The study was carried out with financial support from the Kuban Science Foundation within the framework of scientific project No. MFI-20.1/27

Summary

To improve the operational and technical characteristics of mobile energy systems based on renewable sources, it is proposed to use modular blocks of electricity converters in their design, the connection of which with each other in various ways will allow changing the power of the system, as well as the structure

of the system, depending on the consumer's requirements for reliability electricity supply The main stages of the synthesis of mobile power systems based on renewable sources are revealed and a structural solution for a power system made on modular blocks of electrical energy converters is proposed.

Abstract

Introduction. It is possible to increase the profitability of small farms remote from the external energy system through the use of mobile energy systems using renewable energy sources in areas with high potential for wind and solar energy. In addition, such systems will increase the efficiency of emergency rescue and emergency restoration work in areas of natural disasters and destruction. The main advantages of mobile power systems, as well as the advantages of modular aggregation of the functional elements of these systems, are considered. The main stages of the synthesis of mobile energy systems based on renewable sources are revealed. Basic power electrical circuits of modular blocks of electricity converters and methods for connecting them to each other are proposed, which make it possible to increase the reliability of operation and installed capacity of a mobile power system, as well as optimize its structure depending on consumer requirements for reliability of electricity, including uninterrupted power supply, and power quality. To improve the operational and technical characteristics of a mobile power system, it is proposed to use the positive property of static converters - to pass energy flows in both directions. A block diagram of a mobile energy system based on modular blocks of static converters has been developed and the features of its operation are revealed. **The purpose of the study** is to develop structural and circuit solutions for modular units of electricity converters to improve the operational and technical characteristics of mobile power systems. **Object of study:** structural and circuit solutions of static electricity converters and mobile power systems. **Materials and methods.** When conducting research, methods of statistical information processing, theoretical foundations of electrical engineering and power electronic converter technology were used. **Results and conclusions.** Schematic electrical diagrams of modular blocks of electricity converters and methods for connecting them to each other are proposed. A block diagram of a mobile power system based on renewable energy sources and modular blocks of electricity converters has been developed. The features of the operation of modular units of electricity converters and the operation of a mobile power system are considered, which will increase the efficiency of pre-design work on the development of autonomous power plants with improved operational and technical characteristics.

Keywords: mobile power systems, renewable energy sources, autonomous power sources, modular aggregation.

Citation. Grigorash O. V., Daus Yu. V., Kvitko A. A., Baryshev P. M. Modular aggregation of power converters of mobile power systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 339-348 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-39.

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 620.92

МОДУЛЬНОЕ АГРЕГАТИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Григораш О. В., доктор технических наук

Даус Ю. В., кандидат технических наук

Квитко А. В., старший преподаватель

Барышев П. М., студент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках
научного проекта № МФИ-20.1/27

Актуальность. Повысить рентабельность малых фермерских хозяйств, удаленных от внешней энергетической системы, можно за счёт применения мобильных энергосистем, выполненных с использованием возобновляемых источников энергии, в районах с высоким потенциалом ветровой и солнечной энергии. Кроме того, такие системы повысят эффективность проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в районах стихийных бедствий и разрушений. Рассмотрены основные преимущества мобильных энергосистем, а также преимущества модульного агрегатирования функциональных элементов этих систем. Раскрыты основные этапы синтеза мобильных энергосистем на возобновляемых источниках. Предложены принципиальные силовые электрические схемы модульных блоков преобразователей электроэнергии и способы подключения их между собой, которые позволяют повысить надежность работы и установленную мощность мобиль-

ной энергосистемы, а также оптимизировать ее структуру в зависимости от требований потребителей к надежности электроэнергии, в том числе бесперебойности электроснабжения, и качеству электроэнергии. Для улучшения эксплуатационно-технических характеристик мобильной энергосистемы предложено применить положительное свойство статических преобразователей – пропускать потоки энергии в обоих направлениях. Разработана структурная схема мобильной энергосистемы на базе модульных блоков статических преобразователей и раскрыты особенности ее работы. **Целью исследования** является разработка структурно-схемных решений модульных блоков преобразователей электроэнергии для улучшения эксплуатационно-технических характеристик мобильных энергосистем. **Объект исследования:** структурно-схемные решения статических преобразователей электроэнергии и мобильных энергосистем. **Материалы и методы.** При проведении исследований применялись методы статистической обработки информации, теоретических основ электротехники и силовой электронной преобразовательной техники. **Результаты и выводы.** Предложены принципиальные электрические схемы модульных блоков преобразователей электроэнергии и способы их включения между собой. Разработана структурная схема мобильной энергосистемы на возобновляемых источниках энергии и модульных блоках преобразователей электроэнергии. Рассмотрены особенности работы модульных блоков преобразователей электроэнергии и работы мобильной энергосистемы повысит эффективность предпроектных работ по разработке автономных электростанций с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками.

Ключевые слова: мобильные энергосистемы, возобновляемые источники энергии, автономные источники электроэнергии, модульное агрегатирование.

Цитирование. Григораш О. В., Даус Ю. В., Квитко А. А., Барышев П. М. Модульное агрегатирование преобразователей электроэнергии мобильных энергосистем. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 339-348. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39.

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. Актуальным является направление применение мобильных энергосистем (МЭС) для электроснабжения автономных потребителей электроэнергии малых фермерских хозяйств (МФХ), применяемых при проведении аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ и в других производственных сферах [1, 2]. Традиционные автономные источники электроэнергии (АИЭ) – дизельные и бензоэлектростанции, применяемые в составе современных МЭС, имеют низкие эксплуатационно-технические характеристики, в том числе небольшой ресурс работы, и оказывают отрицательное воздействие на экологию [3]. Сегодня находят широкое применение мобильные комбинированные (гибридные) электростанции, выполненные с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в основном солнечных и ветроэнергетических установок [4, 5].

Основные преимущества МЭС, выполненных на базе ВИЭ [6, 7]:

- возможность быстрого развёртывания;
- автоматическое управление режимами работы, включая изменение структуры системы в зависимости от приоритете нагрузок;
- применение ВИЭ в составе станции увеличивает время ее работы и исключает зависимость от поставки топлива;
- повышенный срок необслуживаемой работы;
- возможность наращивания установленной мощности путем включения на параллельную работу аналогичных станций;
- возможность работать параллельно с основной сетью.

Когда производители комплектуют МЭС, как правило за базовые берутся экономические показатели. И если вопрос с капитальными затратами на момент проектирования МЭС относительно оптимизируется, то проблемы с эксплуатационными затратами не до конца просчитывается, что приводит к постоянному ухудшению эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) этих станций, и прежде всего понижению показателей надёжности и ремонтпригодности мобильных станций [3, 8].

Целью исследования является разработка структурно-схемных решений модульных блоков преобразователей электроэнергии для улучшения ЭТХ мобильных энергосистем.

Объект исследования: структурно-схемные решения статических преобразователей электроэнергии и мобильных энергосистем.

Методика исследования. При проведении исследований применялись методы статистической обработки информации, теоретических основ электротехники и силовой электронной преобразовательной техники.

Результаты и их обсуждение. Как известно, агрегатирование, применительно к энергетике, – это метод синтеза систем, состоящих из оборудования многократно используемого на основе функциональной взаимозаменяемости. Агрегатирование позволяет не создавать новую систему, а в большинстве случаев перекомпоновывать её, используя новое, освоенное производством оборудование, с целью улучшения технико-экономических и ЭТХ системы. При этом принцип модульного агрегатирования подразумевает создание системы на основе модулей. Под модулем понимается составная часть оборудования, преимущественно состоящая из унифицированных или стандартизированных блоков или элементов различного функционального назначения, как правило, выполняющих функции источника или преобразователя параметров электроэнергии, электрических фильтров, коммутационных аппаратов и т.п. За счет того что необходимо постоянно улучшать ЭТХ функциональных элементов, прежде всего из-за того, что повышаются требования к ним со стороны потребителей электроэнергии, происходит их унификация, и развивается агрегатирование. Важной особенностью взаимозаменяемых модульных блоков функциональных элементов системы является то, что они должны иметь идентичные входные и выходные параметры электроэнергии (напряжение, род тока, частота). Кроме того, они должны иметь одинаковый механический крепёж, электрические соединения и массогабаритные размеры, не превышающие установленные показатели.

Преимущества модульного агрегатирования функциональных элементов МЭС [9, 10]:

- высокий уровень мобильности, незначительное время подключения в работу, монтажа и демонтажа, при необходимости, модульных блоков;
- высокая надежность работы, в том числе бесперебойное электроснабжение автономных потребителей за счет наличия нескольких источников электроэнергии, включая возобновляемые и традиционные (аккумуляторные батареи, бензоэлектростанции);
- достаточно просто увеличивается, при необходимости, установленная мощность источников, преобразователей и накопителей электроэнергии путем включения их на параллельную работу;
- сокращается время на проектирования модульных систем для конкретных потребителей электроэнергии, поскольку изменяется только их комплектация;
- упрощается задача по изменению структуры электростанции в зависимости от требований потребителей;
- значительный технико-экономический эффект достигается при эксплуатации за счет сокращения времени на устранение неисправностей, поскольку неисправные модули заменяются на рабочие.

На структуру МЭС и её технико-экономические и ЭТХ в основном оказывают влияние следующие факторы: мощность, напряжение, род тока и режимы работы автономных потребителей электроэнергии, а также требования к качеству электроэнергии.

Как правило, в основном потребителями электроэнергии являются однофазными, реже трёхфазными, переменного тока. А также в составе автономных потребителей отсутствуют потребители первой категории по надёжности электроснабжения, перерыв в электроснабжении которых может повлечь значительный материальный ущерб и нарушения сложных технологических процессов. Что же касается качества электроэнергии, то практически в большинстве своём они требуют для питания электроэнергию с синусоидальным напряжением. К таким потребителям относится в основном двигательная нагрузка [11, 12].

Важный факт, который необходимо учитывать при проектировании МЭС: чем выше требования к качеству электроэнергии, в том числе к бесперебойности электроснабжения, тем сложнее структура и дороже станция. Кроме того, при модульном агрегатировании функциональных элементов МЭС необходимо учитывать достоинства и недостатки двух принципов резервирования работы элементов: полное или частичное.

Полное резервирование предполагает наличие избыточных функциональных элементов в системе, как правило, резервных источников, а также преобразователей электроэнергии, необходимость которых вызвана обеспечением бесперебойного электроснабже-

ния потребителей электроэнергии. При полном резервировании один основной АИЭ обеспечивает электроэнергией потребителей в пиковом режиме, т.е. когда одновременно работает максимальное количество потребителей, предусмотренных технологическим процессом или условиями эксплуатации. При этом второй источник электроэнергии находится в резерве. Основное достоинство данного принципа – высокая надежность электроснабжения, а недостаток – повышенная стоимость, большая масса и габариты МЭС.

При частичном резервировании мощность одного АИЭ меньше максимальной мощности одновременно работающих потребителей. При необходимости повышения мощности источника в работу включается резервный источник, которым может быть также АБ. Основное преимущество данного принципа – пониженная стоимость и улучшенные массогабаритные показатели МЭС. Необходимо отметить следующую особенность частичного резервирования: основной и резервные источники электроэнергии должны быть одной мощности в противоположном случае это может привести к перегрузке одного из источников.

В общем случае задача синтеза структуры МЭС, выполненная на базе модульных блоков преобразователей электроэнергии, должна в себя включать [3, 8]:

- определение мощности и видов источников электроэнергии, в том числе возобновляемых и традиционных (дизельные, бензоэлектростанции и аккумуляторные батареи), мощности преобразователей и стабилизаторов параметров электроэнергии, с учётом требований потребителей к качеству электроэнергии и допустимому времени перерыва в электроснабжении;

- комплектацию функциональными элементами и разработку структуры электростанции с учетом требований потребителей к качеству электроэнергии;

- определение принципа резервирования АИЭ и преобразователей электроэнергии, здесь важным является вопрос учета потенциала ВИЭ;

- автоматическая система управления должна изменять структуру энергосистемы в нормальных и аварийных режимах работы с учётом потенциала ВИЭ и приоритетов нагрузки, обеспечивая наиболее эффективные взаимосвязи;

- электрическая совместимость функциональных элементов, предполагающая их совместное применение по следующим параметрам: мощности, входному и выходному напряжению, роду тока;

- электромагнитная совместимость – это способность электрооборудования совместно функционировать, обеспечивая требуемое качество параметров электроэнергии для нагрузки в условиях взаимно создаваемых ими электромагнитных помех;

- конструктивная совместимость, предполагающая взаимосопрягаемый набор несущих конструкций и разъемных соединений модулей функциональных элементов, позволяющая осуществлять рациональную компоновку в транспортном средстве.

Для эффективного решения рассмотренных задач, направленных на улучшение ЭТХ мобильной энергосистемы, важным является вопрос разработки рационального и компактного структурно-схемного решения функциональных элементов в модульном исполнении.

Разработка единого по структуре функционального модуля автономного источника электроэнергии (АИЭ) для МЭС является практически неразрешимой задачей, поскольку в качестве источника электроэнергии могут быть солнечные (СБ) и аккумуляторные батареи (АБ), ветроэнергетические установки (ВЭУ), традиционные источники – дизельные (ДЭС) или бензоэлектростанции (БЭС). При этом они имеют разные массогабаритные показатели при одной и той же мощности. Кроме того, эти источники генерируют электроэнергию как постоянного, так и переменного тока. В связи с этим необходимо разработать только единые требования к параметрам электроэнергии АИЭ для того, чтобы можно было выбрать необходимый преобразователь и стабилизатор напряжения, а также зарядное устройство для АБ. К примеру, АИЭ постоянного тока должны генерировать напряжение 48 В, а переменного тока – 220 В, такое же должно быть фазное напряжение для трёхфазного источника электроэнергии.

Разработка модульного блока преобразователя электроэнергии, работающего в разных режимах преобразования (выпрямительный или инверторный) и пропускать через себя потоки энергии в обоих направлениях, является разрешимой задачей. Кроме того, на базе таких преобразователей в модульном исполнении, можно создавать устройства, работающие в режимах конвертора и преобразователя частоты [13, 14].

На рисунке 1 (а и б), приведены варианты силовых принципиальных электрических схем модульных блоков преобразователей электроэнергии, выполненные на биполярных транзисторах (на рисунке 1 цепи управления транзисторами не показаны). Автоматическая система управления (АСУ) мобильной энергосистемой синхронно работает с локальными системами управления (ЛСУ) преобразователей. Так, в режиме инвертора АСУ к выводам 1 и 2 модульного блока преобразователя (рисунок 1, а, б) подключает источник напряжения постоянного тока, а к выводам 3 и 4 нагрузку, как правило, согласующий трансформатор (рисунок 1, в). При этом, ЛСУ преобразователем формирует управляющие импульсы для транзисторов VT1, VT4 и VT2, VT3 для мостовой схемы (рисунок 1, а), VT1 и VT2 для полумостовой схемы (рисунок 1, б). В режиме выпрямителя АСУ к выводам 3 и 4, рассматриваемых схем, подключает источник напряжения переменного тока через согласующий трансформатор Т, а к выводам 1 и 2 нагрузку.

Согласующий трансформатор Т также должен быть представлен в виде модульного блока, имеющего выводы 1 и 2 повышенного напряжения, а 3 и 4 пониженного напряжения (рисунок 1, в).

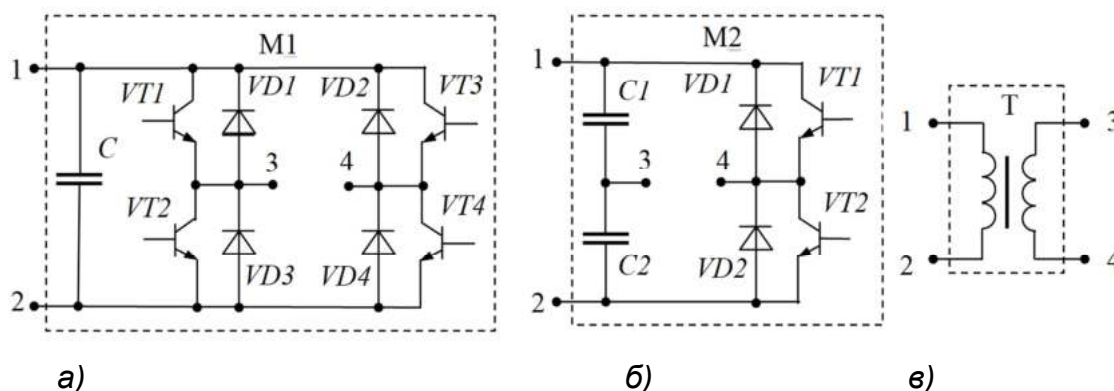


Рисунок 1 – Принципиальные силовые электрические схемы модульных блоков преобразователей электроэнергии: M1 – мостовая схема (а) ; M2 – полумостовая схема (б); модульный блок согласующего трансформатора Т (в)

Figure 1 – Schematic power electrical circuits of modular blocks power converters: M1 – bridge circuit (a); M2 – half-bridge circuit (b); modular block of matching transformer T (v)

На рисунке 2, а приведена структурная схема конвертера, а на рисунке 2, б преобразователя частоты, выполненные на базе, рассмотренных модульных блоков (рисунок 1). На рисунке 2 обозначено: U_1 и U_2 – входное и выходное напряжение постоянного тока; M1.1 и M1.2 – модульные блоки мостовой схемы, M1.1, работает в режиме инвертора, а M1.2 – выпрямителя (рисунок 1, а); $X_1 - X_8$ – разъемы; U_{BX} и U_{BbIX} – входное и выходное напряжение переменного тока; f_{BX} и f_{BbIX} – входная и выходная частота; M2.1 и M2.2 – модульные блоки мостовой схемы, M2.1, работает в режиме выпрямителя, а M2.2 – инвертора (рисунок 1, а).

При проектировании МЭС могут быть применены несколько способов подключения модульных блоков преобразователей электроэнергии к источникам и нагрузке (рисунок 3):

- входы модульных блоков к источнику электроэнергии $U_{и}$ подключены параллельно и их выходы подключены параллельно на общую нагрузку $U_{н}$ (рисунок 3, а);
- входы модульных блоков к источнику электроэнергии $U_{и}$ подключены последовательно, а их выходы параллельно на общую нагрузку $U_{н}$ (рисунок 3, б);
- входы модульных блоков к источнику электроэнергии $U_{и}$ подключены параллельно, а их выходные напряжения суммируются для питания общей нагрузки $U_{н}$ (рисунок 3, в);
- входы модульных блоков к источнику электроэнергии $U_{и}$ подключены последовательно, а их выходные напряжения суммируются для питания общей нагрузки $U_{н}$ (рисунок 3, г).

Первый из способов подключения модульных блоков (рисунок 3, а) применяется при относительно низких значениях напряжения источника напряжения $U_{и}$ и при широком диапазоне изменения нагрузки. Сегодня широко применяется этот способ повышения мощности преобразовательных устройств (выпрямителей, инверторов), содержащих не-

большой мощности преобразователи. Основными недостатками способа заключается в необходимости синхронизации работы модульных блоков и, соответственно, выравнивании токов нагрузок между параллельно работающими преобразователями.

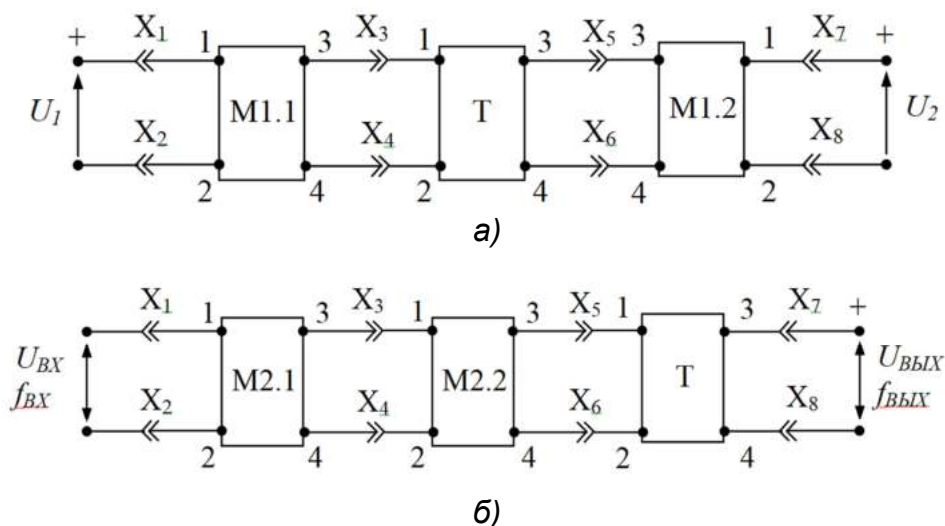


Рисунок 2 – Структурные схемы конвертора (а) и преобразователя частоты (б), выполненные на модульных блоках (рисунок 1)

Figure 2 – Block diagrams of the converter (a) and frequency converter (b), made on modular blocks (Figure 1)

Второй способ подключения модульных блоков (рисунок 3, б) применяется, когда напряжение источника питания $U_{и}$ превышает значение обратного напряжения на закрытых силовых электронных приборах преобразователей электроэнергии. В этом случае напряжение $U_{и}$ распределяется между последовательно включенными модульными блоками преобразователей электроэнергии, а на выходе каждого из них будет напряжение равное $U_{и}/n$, где n – число модульных блоков.

Способы подключения модульных блоков, приведенные на рисунках 3, а и б, позволяет реализовать трехфазный источник электроэнергии. Для этого необходимо начало выводов трансформаторов (вторичных обмоток) Т1, Т2 и Т3, соединить между собой (нулевая точка), а концы выводов будут являться фазами А, В и С трехфазной системы напряжений. При этом напряжения задающих генераторов ЛСУ преобразователей должны быть синхронизированы и сдвинуты друг относительно друга на угол 120° .

Третий способ, когда модульные блоки подключаются параллельно к источнику электроэнергии, а их выходное напряжение суммируется и прикладывается к общей нагрузке $U_{н}$ (рисунок 3, в), является известным способом построения высоковольтных преобразовательных устройств.

Четвёртый способ подключения модульных блоков по схеме, приведённой на рисунке 3, г, может применяться при относительно высоком напряжении источника питания $U_{и}$.

При построении МЭС на модульных блоках возможны, кроме рассмотренных способов их подключения, и другие различные их комбинации между собой, в том числе применение только одного трансформатора, согласующего напряжение модульных блоков с разными схемами подключения с нагрузкой.

Рассмотренные способы подключения модульных блоков к источнику и нагрузке позволяют решать следующие задачи:

- 1) повысить надежность работы МЭС, поскольку несколько модульных блоков преобразователей электроэнергии могут быть в резерве и при отказе одного из блоков включаться в работу;
- 2) повысить мощность МЭС или выходного напряжения;
- 3) оптимизировать структуру МЭС в зависимости от требований потребителей к надежности электроэнергии, в том числе бесперебойности электроснабжения, и качеству электроэнергии.

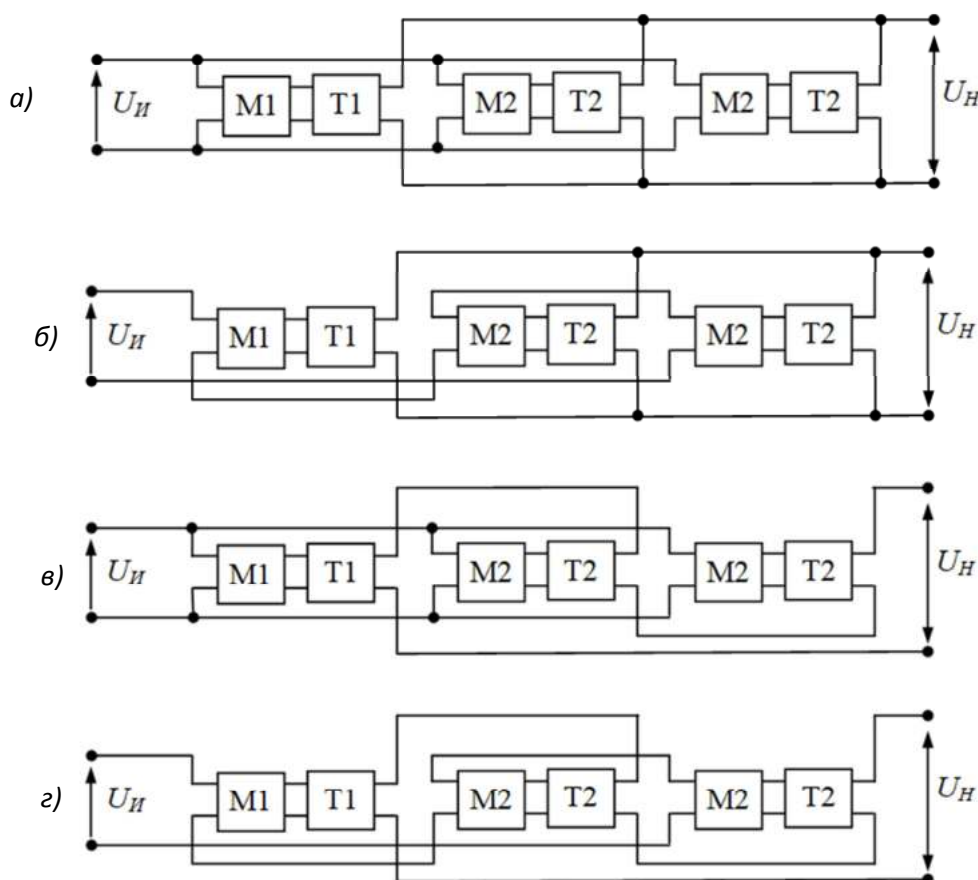


Рисунок 3 – Способы подключения модульных блоков к источнику электроэнергии U_H и нагрузке U_H
Figure 3 – Methods for connecting modular units to the power source U_H and load U_H

Для улучшения ЭТХ мобильных энергосистем целесообразно применить одно из положительных свойств статических преобразователей – пропускать потоки энергии в обоих направлениях [13, 15]. На рисунке 4 приведена структурная схема МЭС, реализующая это свойство, где обозначено: ВЭУ – ветроэнергетическая установка; СБ – солнечные батареи; M1 и M2 модульные блоки преобразователей электроэнергии; АБ – аккумуляторные батареи; Т – модульный блок трансформатора; БЭС – бензоэлектростанция; Н1 и Н2 – нагрузка постоянного и переменного тока, соответственно; Ш1 и Ш2 – шина постоянного и переменного тока соответственно.

Принцип работы МЭС. При подаче сигнала на АСУ (на рисунке 4 не показана) осуществляется запуск станции. В основном режиме функционирования при достаточном уровне потенциала возобновляемых источников ВЭУ и СБ генерируют электроэнергию постоянного тока мощностью $P_{ВИЭ}$, которая рассчитана для номинального режима работы нагрузки постоянного и переменного тока Н1 и Н2, а также заряда АБ. В этом режиме модульный блок M1 работает в режиме зарядного устройства АБ, а модульный блок M2, работает в режиме инвертора. АСУ контролирует параметры электроэнергии источников и на шинах Ш1 и Ш2.

Когда $P_{ВИЭ} < P_H$, где P_H – суммарная номинальная мощность потребителей электроэнергии постоянного и переменного тока, работающих одновременно, то АСУ к шине постоянного тока Ш1 подключает АБ. Когда значение энергии АБ уменьшается до критического допустимого разряда, то АСУ в работу включает бензо-электростанцию БЭС. Если суммарной мощности источников электроэнергии будет недостаточно для обеспечения энергией потребителей, тогда АСУ в соответствии с установленным приоритетом нагрузки отключает часть потребителей электроэнергии, т.е. уменьшает мощность потребителей постоянного и переменного тока, обеспечивая электроэнергией ответственных потребителей.

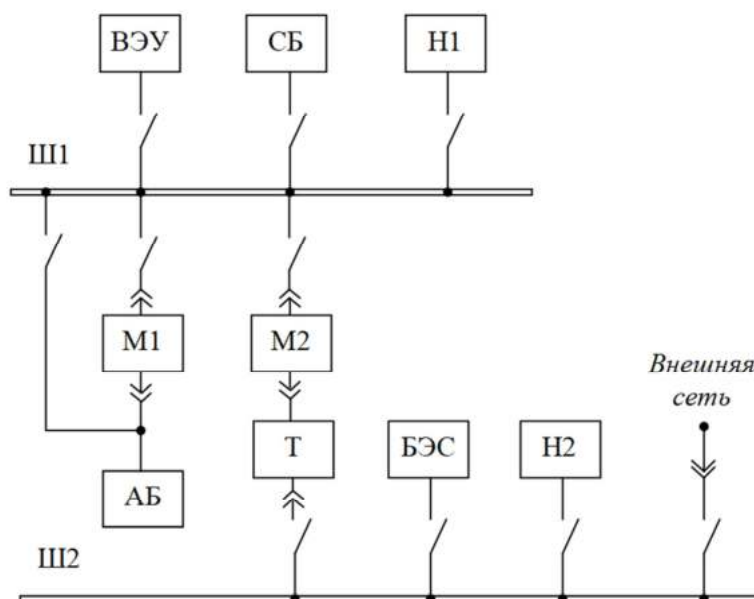


Рисунок 4 – Структурная схема мобильной энергосистемы
Figure 4 – Block diagram of a mobile power system

Выводы. Предложенные структурно-схемные решения преобразователей электроэнергии в модульном исполнении, способы включения их между собой, а также рассмотрены особенности их работы и работы мобильной энергосистемы повысит эффективность предпроектных работ по разработке автономных электростанций с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками.

Conclusions. The proposed structural and schematic solutions of electric power converters in modular design, ways to include them among themselves, as well as the peculiarities of their operation and the operation of the mobile power system are considered, will increase the efficiency of pre-design work on the development of autonomous power plants with improved operational and technical characteristics.

Библиографический список

1. Tokmoldin S. Z., Klimenov V. V., Girin D. V., et al. Development of a mobile autonomous solar power plant for the needs of agriculture. News of Higher Educational Institutions. Materials of Electronics Engineering. 2022. V. 25 (2). Pp. 125-136.
2. Trofimov L. N., Trofimov I. L. Optimization of Capacities of Wind and Solar Power Plants in the Interstate Power Grid in North-East Asia Taking Into Account the Intermittence of Their Power Output. E3S Web of Conferences. 2020. V. 209. 04005.
3. Григораш О. В., Денисенко Е. А., Грищенко Д. Н., Барышев П. М. Мобильные ветро-солнечные электростанции: состояние, перспективы и особенности проектирования. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2023. Т. 23. № 1. С. 48-55.
4. Gordievsky E., Ibrahim A., Miroshnichenko A. Review of Idea on Development of Mobile Scalable Power-Complex Based on Renewables. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Sochi, 2019. Pp. 1-5.
5. Obaidah M. A., Soroni F., Khan M. M. Development of a Hybrid Power Generation System. IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON). New York, 2021. Pp. 0717-0722.
6. Parizad A., Hatziaodoniu K. J. Multi-Objective Optimization of PV/Wind/ESS Hybrid Microgrid System Considering Reliability and Cost Indices. North American Power Symposium (NAPS). Wichita, KS, 2019. Pp. 1-6.
7. Никитенко Г. В., Коноплев Е. В., Лысаков А. А. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения. Сельский механизатор. 2018. № 4. С. 28–29.
8. Saymbetov A., Nurgaliyev M., Kuttybay N., Abdullozoda M., Dosymbetova G., Tukymbekov D. Design of autonomous mobile PV system for remote regions. 16th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES). Romania, 2021. Pp. 1-4.
9. Усков А. Е. Выбор оптимального резервного источника электроснабжения. Сельский механизатор. 2022. № 1. С. 36-38.
10. Grab R., et al. Modeling of Photovoltaic Inverter Losses for Reactive Power Provision. IEEE Access Year. 2022. V. 10.
11. Кашин Я. М., Копелевич Л. Е., Самородов И. Б. Ветро-солнечный генератор и его характеристики. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2019. № 6. С. 201-214. <https://ntk.kubstu.ru/tocs/66>.

12. Лаврик А. Ю., Жуковский Ю. Л., Булдыско А. Д. Особенности выбора оптимального состава ветро-солнечной электростанции с дизельными генераторами. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 10-17.
13. Григораш О. В., Даус Ю. В., Денисенко Е. А., Коломейцев А. Э. Структурно-схемные решения солнечных автономных инверторов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 439-450.
14. Капустин И. В., Лукашенко А. А. Анализ и исследование систем управления автономным инвертором напряжения. Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 1. С. 118-125.
15. Дайчман Р. А. Расчет ветро-солнечной установки малой мощности. Молодой ученый. 2016. № 10 (114). С. 169-173.

References

1. Tokmoldin S. Z., Klimenov V. V., Girin D. V., et al. Development of a mobile autonomous solar power plant for the needs of agriculture. News of Higher Educational Institutions. Materials of Electronics Engineering. 2022. V. 25 (2). Pp. 125-136.
2. Trofimov L. N., Trofimov I. L. Optimization of Capacities of Wind and Solar Power Plants in the Interstate Power Grid in North-East Asia Taking Into Account the Intermittence of Their Power Output. E3S Web of Conferences. 2020. V. 209. 04005.
3. Grigorash O. V., Denisenko E. A., Grishchenko D. N., Baryshev P. M. Mobile Wind and Solar Power Plants: Status, Prospects and Design Features. Bulletin of South Ural State University. "Energy" series. 2023. V. 23. No 1. Pp. 48-55.
4. Gordievsky E., Ibrahim A., Miroshnichenko A. Review of Idea on Development of Mobile Scalable Power-Complex Based on Renewables. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Sochi, 2019. Pp. 1-5.
5. Obaidah M. A., Soroni F., Khan M. M. Development of a Hybrid Power Generation System. IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON). New York, 2021. Pp. 0717-0722.
6. Parizad A., Hatziaodoniu K. J. Multi-Objective Optimization of PV/Wind/ESS Hybrid Microgrid System Considering Reliability and Cost Indices. North American Power Symposium (NAPS). Wichita, KS, 2019. Pp. 1-6.
7. Nikitenko G. V., Konoplev E. V., Lysakov A. A. Wind-solar system of autonomous electric supply. Rural machine operator. 2018. № 4. Pp. 28-29.
8. Saymbetov A., Nurgaliyev M., Kutybay N., Abdullozoda M., Dosymbetova G., Tukymbekov D. Design of autonomous mobile PV system for remote regions. 16th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES). Romania, 2021. Pp. 1-4.
9. Uskov A. E. Selection of the optimal reserve source of power supply. Rural Mechanizer. 2022. № 1. Pp. 36-38.
10. Grab R., et al. Modeling of Photovoltaic Inverter Losses for Reactive Power Provision. IEEE Access Year. 2022. V. 10.
11. Kashin Y. M., Kopelevich L. E., Samorodov I. B. Wind-Solar Generator and Its Characteristics. Electronic network polythematic journal "Scientific Works of KubSTU". 2019. № 6. Pp. 201-214. <https://ntk.kubstu.ru/tocs/66>.
12. Lavrik A. Yu., Zhukovsky Y. L., Buldysko A. D. Features of Choosing the Optimal Composition of a Wind-Solar Power Plant with Diesel Generators. News of Higher Educational Institutions. Energy problems. 2020. V. 22. № 1. Pp. 10-17.
13. Grigorash O. V., Daus Y. V., Denisenko E. A., Kolomeitsev A. E. Structural and Schematic Solutions of Solar Autonomous Inverters. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 2 (70). Pp. 439-450.
14. Kapustin I. V., Lukashenko A. A. Analysis and Research of Control Systems for Autonomous Voltage Inverter. Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. 2019. I. 1. Pp. 118-125.
15. Daichman R. A. Calculation of a low-power wind-solar installation. A young scientist. 2016. № 10 (114). Pp. 169-173.

Информация об авторах

Григораш Олег Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: grigorash61@mail.ru

Даус Юлия Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: zirochka3011@gmail.com

Квитко Андрей Викторович, старший преподаватель кафедры «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: 906187001@mail.ru

Барышев Петр Михайлович, магистр факультета энергетике ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: petiabaryshev@mail.ru

Author's Information

Grigorash Oleg Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Renewable Energy Sources, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: grigorash61@mail.ru

Daus Yulia Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering, Thermal Engineering and Renewable Energy Sources, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: zirochka3011@gmail.com

Kvitko Andrey Viktorovich, senior lecturer of the Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Renewable Energy Sources, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: 906187001@mail.ru

Baryshev Petr Mikhailovich, master of the Faculty of Energy, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: petiabaryshev@mail.ru

PROMISING WAYS TO IMPROVE SAFETY NON-STATIONARY ELECTRIC MACHINES**Eremina T. V., Shanygin I. A., Galeguzova I. A.***East Siberian State University of Technology and Management
Ulan-Ude, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: irina.hmeleva@yandex.ru

Received 17.02.2024

Submitted 17.05.2024

Abstract

Introduction. The widespread use of non-stationary electric machines (SPM) in the rural infrastructure, which are operated in specific conditions, is associated with the impact of hazardous factors on humans, such as electric current and vibration. Therefore, the solution to the problem of SPM safety should be comprehensive in order to reduce the occurrence of electrical injuries and vibration injuries when working with this electrical equipment. **Object.** The object of the study is the SPM used at the enterprises "Agroholding Nikolaevsky" and "SIBAGRO" of the Republic of Buryatia of the Baikal region. **Materials and methods.** The article analyzes the safety of SPM by two methods in two areas of research: electrical safety and vibration safety. At this stage, when operating the SPM, it is advisable to use residual current devices (RCDs) to ensure electrical safety, which provide protection of a person from electric shock in the event of emergencies. To ensure vibration safety of SPM, in particular, hand-held power tools, it is advisable to use advanced vibration protection. Existing means of vibration protection do not fully ensure the vibration safety of hand-held power tools and can cause vibration damage to a person working with this equipment. **Results and discussion.** As a result of the studies performed, portable three-phase RCDs with smooth and step-by-step regulation of the tripping current setpoint from 5 to 30 mA with a response time of 0.03 s were developed to improve the electrical safety of SPMs. These RCDs protect single SPMs and can protect stationary electrical installations in group networks at a rated voltage of 220/380V and a load current of no more than 16A. Showing a reduction in the occurrence of electrical injuries by up to 70%. In order to improve the vibration safety of the SPM, additional vibration protection devices have been developed, which represent the design of a shock-absorbing device in a hand-held power tool. When substantiating the elements of the shock-absorbing device, the parameters of the hand-held power tool were studied without additional vibration protection. Experimental operation of hand-held power tools with additional vibration protection showed a significant reduction in vibration parameters by 20÷30% and compliance of vibration speed values with regulatory requirements. The above approach to solving the problem contributes to a significant increase in the safety of SPM and their subsequent operation at agricultural facilities.

Keywords: *electrical installations, non-stationary electrical machines, electrical injuries, vibration damage, residual current device, vibration protection.*

Citation. Eremina T. V., Shanygin I. A., Galeguzova I. A. Promising ways to improve safety non-stationary electric machines. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 349-357 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-40.

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 have read and approved the final version submitted.

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

УДК 658.382.3.651.1

**О ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБАХ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН****Ерёмина Т. В., доктор технических наук, профессор ВАК
Шаныгин И. А., кандидат технических наук, доцент
Галегузова И. А., старший преподаватель***ФГБОУ ВО Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
г. Улан-Удэ, Российская Федерация*

Актуальность. Широкое применение в инфраструктуре села нестационарных электрических машин (НЭМ), эксплуатирующихся в специфических условиях, связано с воздействием на человека опасных факторов, таких как электрический ток и вибрация. Поэтому решение проблемы безопасности НЭМ должно быть комплексным для снижения возникновения электротравматизма и вибропоражений при работе с данной электротехникой. **Объект.** Объектом исследования являются НЭМ, используемые на предприятиях «Агрохолдинг Николаевский» и «СИБАГРО» Республики Бурятия Бай-

кальского региона. **Материалы и методы.** В статье выполнен анализ безопасности НЭМ двумя методами в двух направлениях исследования: электробезопасности и вибробезопасности. На данном этапе при эксплуатации НЭМ для обеспечения электробезопасности целесообразно использовать устройства защитного отключения (УЗО), обеспечивающие защиту человека от поражения электрическим током при возникновении аварийных ситуаций. Для обеспечения вибробезопасности НЭМ, в частности ручного электроинструмента целесообразно использовать усовершенствованные средства виброзащиты. Существующие средства виброзащиты не в полной мере обеспечивают вибробезопасность ручного электроинструмента и могут явиться причиной возникновения вибропоражения человека, работающего с данной техникой. **Результаты и обсуждение.** В результате выполненных исследований для повышения электробезопасности НЭМ разработаны переносные трёхфазные УЗО плавного и ступенчатого регулирования уставки тока срабатывания от 5 до 30 мА с временем срабатывания 0,03 с. Данные УЗО выполняют защиту одиночных НЭМ и могут выполнять защиту стационарных электроустановок в групповых сетях при номинальном напряжении 220/380 В и токе нагрузки не более 16 А. Определена электрозащитная эффективность УЗО, показывающая снижение возникновения электротравматизма до 70%. Для совершенствования вибробезопасности НЭМ разработаны дополнительные виброзащитные средства, представляющие конструкцию амортизационного устройства в ручном электроинструменте. При обосновании элементов амортизационного устройства проведены исследования параметров ручного электроинструмента без дополнительной виброзащиты. Экспериментальная эксплуатация ручного электроинструмента с дополнительной виброзащитой показала значительное снижение параметров вибрации на 20÷30% и соответствие значений виброскорости нормативным требованиям. Приведённый подход к решению проблемы способствует значительному повышению безопасности НЭМ и их последующей эксплуатации на объектах сельского хозяйства.

Ключевые слова: электроустановки, нестационарные электрические машины, электротравмы, вибропоражение, устройство защитного отключения, виброзащита.

Цитирование. Ерёмкина Т. В., Шаныгин И. А., Галегузова И. А. О перспективных способах повышения безопасности нестационарных электрических машин. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 349-357. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-40.

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 современных условиях развитие села связано с ростом объемов производства при внедрении высокотехнологичных технологий, выпуском разнообразной сельскохозяйственной продукции, что соответствует использованию большого номенклатурного перечня электрических установок, механизмов, машин, в том числе бытовой электротехники. Поэтому решение вопросов безопасности на объектах агропромышленного комплекса (АПК), а также среди населения приобретает высокую значимость и актуальность. Законодательным актом (Приказ № 926 от 28 декабря 2021 г.) предусматривается проведение мероприятий по снижению рисков опасности электроустановок при создании системы управления рисками и проведению организационных и технических мероприятий [1]. В сельской местности на любом объекте, а также в быту имеют широкое использование средства малой механизации, в частности нестационарные электрические машины (НЭМ): передвижные, переносные и ручной электроинструмент. Ручной электроинструмент особенно часто применяется при выполнении многих операций, и его доля составляет 60-70% от всех НЭМ [2]. С точки зрения электробезопасности работы с НЭМ выполняются в сложных условиях, а именно, на железобетонном полу или на земле, при наличии в воздушной среде повышенной влажности, агрессивных сред, что является потенциальной опасностью возникновения электротравм среди людей, а также травмирования сельскохозяйственных животных [3].

В соответствии со статистическими данными при эксплуатации электроустановок, а также НЭМ случаи электротравмирования людей не единичны в помещениях и на территории предприятий, фермерских хозяйствах, в бытовых условиях и др. [4]. Основной причиной несчастных случаев является незнание правил технической безопасности или игнорирование их, особенно такое негативное положение складывается в жилом секторе с приусадебными постройками. Отсюда следует, что НЭМ по безопасности использования должны отвечать высоким требованиям. Особенно это касается питающего кабеля, потому

что не исключены перегибы, скручивания его, изоляция может быть повреждена. Возникает травмоопасная ситуация попадания человека под действие напряжения, по его телу будет протекать электрический ток, исход может быть летальным.

В свою очередь, следует обратить внимание на тот факт, что при работе с НЭМ человек подвержен воздействию вибрации. Причем при использовании ручного электроинструмента через руки на тело человека передается самая опасная локальная вибрация. На основании исследований 70% возникающих вибропоражений связано с применением ручного механизированного инструмента [5]. Отсюда следует, что несчастные случаи, такие как электротравмы и вибропоражения, т.е. профессионально обусловленная заболеваемость, являются последствиями эксплуатации НЭМ, возникающими при недостаточном устранении опасных факторов и отсутствии единого подхода к рассмотрению проблемы техногенной безопасности НЭМ, определяемой состоянием электробезопасности и условиями вибробезопасности.

Проводя анализ, следует обратить внимание на тот факт, что одними из самых опасных факторов, оказывающих влияние на возникновение электротравмы, являются индивидуальные особенности организма человека и состояние окружающей среды. Кроме того, вибрация оказывает отрицательное воздействие на человека, увеличивает степень риска появления несчастных случаев [6]. Отсюда следует, что решение проблемы безопасности при работе с НЭМ должно быть комплексным для снижения электротравматизма и вибропоражений и является важной социальной задачей.

Таким образом, целью исследования является повышение безопасности электроустановок на основе разработки превентивных мер электрической защиты и средств вибрационной защиты НЭМ.

Материалы и методы. Для обеспечения безопасности авторами проведены исследования по применению НЭМ в сельской местности на объектах «Агрохолдинг «Николаевский»» и «СИБАГРО» Республики Бурятия Байкальского региона.

Научная работа выполнялась в двух направлениях: первое – исследование электробезопасности НЭМ; второе – исследование вибробезопасности НЭМ.

Анализ первого направления: исследование электробезопасности при эксплуатации НЭМ.

В Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) отмечено, что при работе с электроустановками для обеспечения безопасности в аварийных режимах целесообразно применение устройств защитного отключения (УЗО), обеспечивающих отключение аварийного участка, во избежание возникновения травмоопасной ситуации. УЗО отключает электроустановку при прикосновении человека к токоведущим частям с поврежденной изоляцией или при прикосновении к корпусу, оказавшемуся под напряжением при наличии связи с землей [7]. Являясь multifunctional, УЗО обеспечивают защиту человека от поражения электрическим током, а также защиту от пожаров при длительном протекании токов утечки на землю [8]. Основными техническими характеристиками УЗО являются чувствительность защиты (величина уставки срабатывания) и быстродействие (время срабатывания), немаловажным параметром является наличие самоконтроля исправности.

Анализ второго направления: исследование вибробезопасности при эксплуатации НЭМ.

Проводя анализ вибропоражений операторов мобильной электротехники, следует обратить внимание на применение её при наличии малоэффективной или недостаточно совершенной виброзащиты НЭМ.

При использовании НЭМ, в частности ручного электроинструмента, человек подвержен постоянному воздействию локальной вибрации, которая оказывает негативное влияние на его нормальную жизнедеятельность, особенно на психическое состояние [9]. Отсюда следует, что вибрация, также как электрический ток, будет опасным и вредным фактором для здоровья человека. Значит, обеспечение вибробезопасности НЭМ, с точки зрения практицизма, является весьма важной задачей.

Таким образом, анализ показывает, что электротравмы и вибропоражения связаны с недостаточным обеспечением безопасности работы с НЭМ и отсутствием единого подхода к рассмотрению данной проблемы [10, 11].

Результаты. Первое направление исследования.

Проведенные исследования применения переносных УЗО с уставками срабатывания 10 и 30мА при подключении их к питающему кабелю НЭМ показывают значительное повышение безопасности, в частности самого распространенного в применении ручного электроинструмента.

Авторами разработаны конструкции трехфазных УЗО с уставками тока срабатывания от 5мА до 30мА, временем срабатывания 0,03с. типа ВДТ-Р (УЗО-розетка) плавного регулирования (Патент №212570, РФ, МПК Н01Н 83/00) и УЗО-Р (УЗО-розетка) ступенчатого регулирования уставки 10, 30мА (Патент №210060, РФ, МПК Н01Н 83/00), которые являются переносными и могут использоваться для защиты одиночных НЭМ, а также для защиты стационарных электроустановок в групповых сетях при токе нагрузки не более 16А, номинальном напряжении 220, 380В.

На рисунке 1 приведен общий вид УЗО-розетки ВДТ-Р.

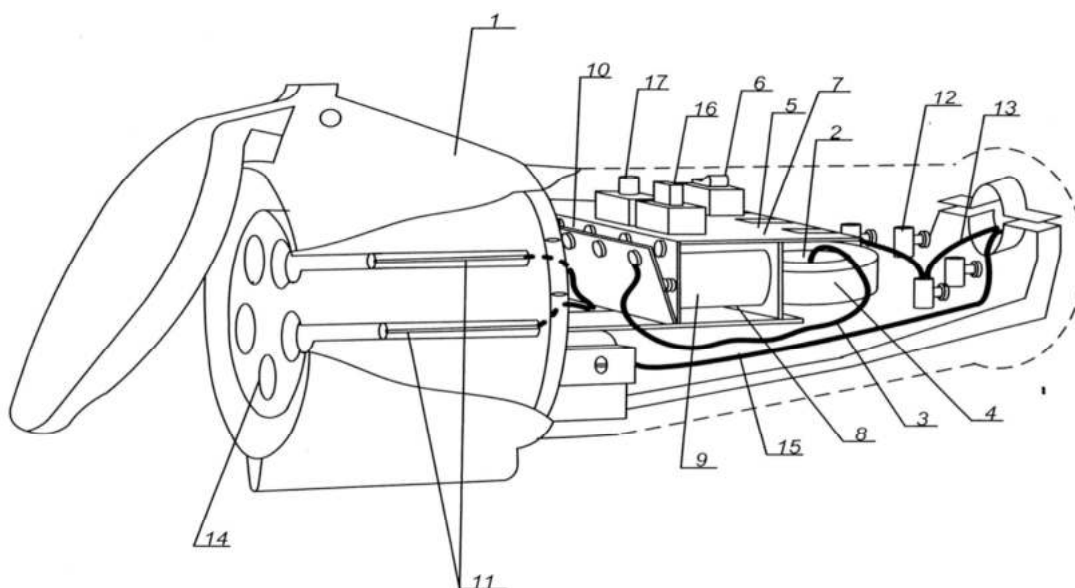


Рисунок 1 – Общий вид УЗО ВДТ – Р.
Figure 1 – General view of RCD VDT-R.

Основные элементы:

1 – корпус, 2 – дифференциальный трансформатор тока, 3 – первичная обмотка, состоящая из трех фазных и нулевого проводников, 4 – вторичная обмотка (катушка на тороидальном сердечнике), 5 – электронный усилитель, 6 – кнопочный переключатель уставки срабатывания, 7 – блок регулирования уставки срабатывания, 8 – пусковое устройство, 9 – катушка отключения, 10 – силовая контактная группа, 11 – силовые упругие контакты, 12 – силовые зажимы, 13 – резиновый сальник, 14 – гнезда розетки с крышкой, 15 – нулевой защитный РЕ-проводник, 16 – кнопка «ВКЛ», 17 – кнопка «ТЕСТ».

Main elements:

1 – The Corps, 2 – Differential current transformer, 3 – Primary care, consisting of three phase and zero conductors, 4 – secondary winding (coil on toroidal core), 5 – electronic amplifier, 6 – is a button switch of the trigger control, 7 – the control unit of the trigger setting, 8 – Launching device, 9 – Shutdown coil, 10 – Force Contact Group, 11 – Forced elastic contacts, 12 – forceful clamps, 13 – Rubber Grinder, 14 – socket socket sockets with cover, 15 – zero protective PE conductor, 16 – the button “off”, 17 – the button “test”.

УЗО-розетка выполняет функции, описание которых приведено при анализе первого направления, т.е. исследовании электробезопасности при эксплуатации НЭМ.

Электрозащитная эффективность УЗО была определена исходя из уравнения на основании сведений, приведенных в [12]:

$$T_{\text{УЗО}} = \frac{P(\text{ЭБ})_{\text{УЗО}}}{P(\text{ЭБ})_6}, \quad (1)$$

где $P(\text{ЭБ})_6$ – вероятность электробезопасности без использования УЗО; $P(\text{ЭБ})$ – вероятность электробезопасности при использовании УЗО.

Здесь $T_{ЭУЗО} = 1$ характеризует минимальное значение эффективности УЗО. При наличии УЗО вероятность электробезопасности НЭМ определяется по уравнению:

$$P(ЭБ) = 1 - P(U_{пр}) \cdot \left[\int_0^{i_{отп}} F_{отп}(i_{чел}) \cdot f(i_{чел}) di_{чел} + P_{б.р.} \int_{I_{уст}}^{\infty} F_{ф}(i_{чел}) di_{чел} + \right. \\ \left. (1 - P_{б.р.} \int_{I_{уст}}^{\infty} F_{но}(i_{чел}) f(i_{чел}) di_{чел} + (1 - P_{н.з.}) \int_{I_{уст}}^{\infty} F_{но}(i_{чел}) f(i_{чел}) di_{чел}) \right], \quad (2)$$

где $P(U_{пр})$ – вероятность попадания человека под напряжение прикосновения (равное фазному напряжению); $P_{б.р.}$ – вероятность безотказной работы УЗО; $P_{н.з.}$ – вероятность несрабатывания УЗО; $F_{ф}(i_{чел})$ – зависимость вероятности тока фибрилляции сердца человека; $F_{но.о.}$ – зависимость вероятности тока неотпускания через человека; $I_{уст.}$ – значение тока уставки УЗО.

Интегральные кривые распределения опасных токов через человека и их плотности распределения, полученные на основе анализа и расчетных данных для трех видов электротравм: легкой, тяжелой и смертельной, приведены на рисунке 2.

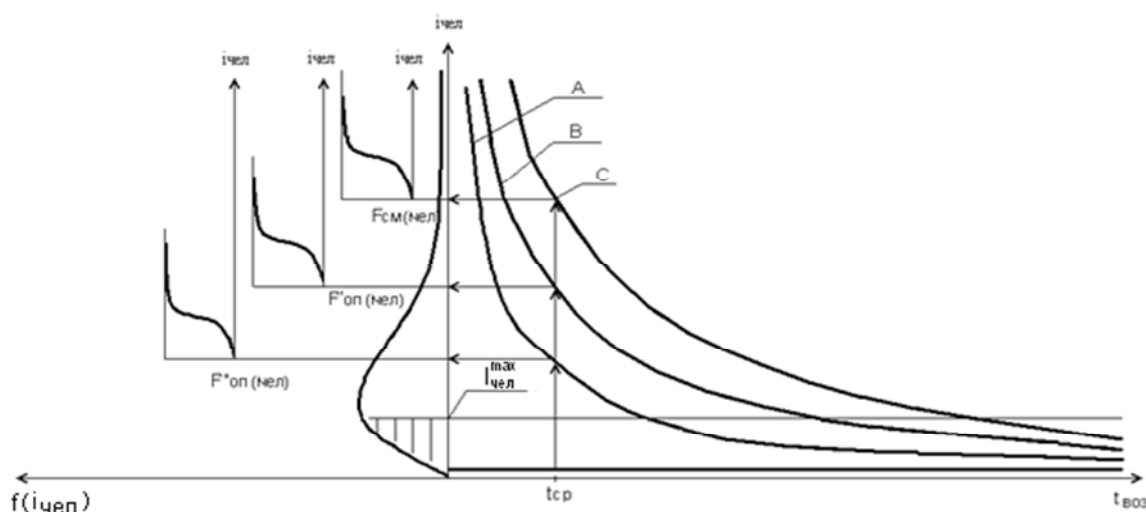


Рисунок 2 – Диаграммы вероятностей травмирования человека
Figure 2 – Diagrams of the probability of injury to a person

А, В, С – границы областей возможных исходов: с временной потерей трудоспособности при времени воздействия тока через человека $t_{в03} \leq 5с$; с тяжёлым исходом при $t_{в03} \leq 5с$; со смертельным исходом $t_{в03} \leq 1с$; $\{F_{оп}(i_{чел}), F'_{оп}(i_{чел}), F_{см}(i_{чел})\}$ – интегральные кривые распределения токов через человека для указанных исходов.

А, В, С – the limits of the areas of possible outcomes: with temporary disability at the time of exposure to current through a person $t_{в03} \leq 5с$; with a severe outcome at the time of transportation $t_{в03} \leq 5с$; with a fatal outcome of transportation $t_{в03} \leq 1с$; $\{F_{оп}(i_{чел}), F'_{оп}(i_{чел}), F_{см}(i_{чел})\}$ – integral curves of distribution of currents through the person for the specified outcomes.

Расчетные значения показателя электрозащитной эффективности $T_{узо}$ для трех случаев опасных исходов (временной потери трудоспособности, тяжелого (инвалидности), смертельного) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения показателей электрозащитной эффективности УЗО.
Table 1 – Values of RCD electrical protection efficiency indicators.

$T_{ЭУЗО} / T_{E RCD}$			
Вид исхода / Type of outcome	Смертельный / Deadly	Тяжёлый (инвалидность) / Severe (disability)	Временная потеря трудоспособности / Temporary disability
Ток уставки, мА / Setpoint current, mA			
5	19,41	69,71	68,49
10	3,09	11,18	32,53
15	2,24	5,08	5,41
30	1,96	4,49	4,43

Время срабатывания УЗО принято равным 0,03 с.

Второе направление исследования.

Поскольку в инфраструктуре села, в том числе и в быту, используются разнообразные НЭМ и особенно ручной электроинструмент, совершенствование виброзащиты приобретает первостепенное значение для обеспечения безопасности данных машин при уменьшении отрицательного воздействия вибрации на человека до допустимых пределов в соответствии с нормативными требованиями.

Авторами разработаны средства виброзащиты НЭМ ударного действия путем использования дополнительных виброзащитных средств (Патент №216264, РФ, МПК В25Д17/24; Патент №194064, РФ, МПК В25В21/02).

В качестве дополнительных виброзащитных элементов выполнена конструкция амортизационного устройства, состоящая из амортизатора в виде двух буферов (объемных колец) из литой упругой резины и двух упорных металлических дисков (шайб), обеспечивающих фиксацию концов динамической (рабочей) пружины и сохранения её устойчивого положения.

Для примера на рисунке 3 показан общий вид электроинструмента ударного действия типа ИЭ-4213А (электрического молотка).

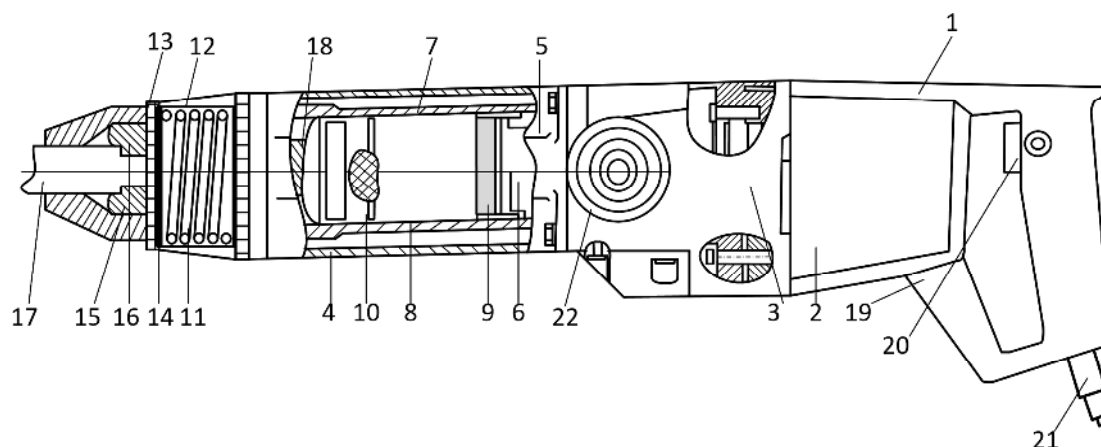


Рисунок 3 – Общий вид конструктивного исполнения электроинструмента ударного действия типа ИЭ-4213А

Figure 3 – General view of the design of the power tool percussion type IE-4213A

Основные элементы:

1 – пластмассовый корпус, 2 – однофазный коллекторный электродвигатель, 3 – редуктор в алюминиевом корпусе, 4 – ствол, выполненный из алюминия, 5 – кривошипно-шатунный механизм, включающий кривошип, палец, 6 – шатун, 7 – ударный механизм, 8 – цилиндр, 9 – поршень, 10 – боёк, 11 – динамическая пружина, 12 – амортизационное устройство, 13 – амортизатор, 14 – два упорных металлических диска, 15 – бокса, 16 – держатель, 17 – рабочий инструмент, 18 – хвостовик, 19 – основная рукоятка, 20 – курковый выключатель с фиксированным рабочим положением, 21 – ввод питающего кабеля, 22 – дополнительная рукоятка.

Main elements:

1 – plastic body, 2 – single-phase collector electric motor, 3 – reducer in aluminum housing, 4 – a barrel made of aluminum, 5 – motion-shifting mechanism, which includes a curveball, finger, 6 – the connecting rod, 7 – shock mechanism, 8 – the cylinder, 9 – the piston, 10 – firing pin, 11 – dynamic spring, 12 – depreciation device, 13 – depreciator, 14 – two hard metal discs, 15 – бокса, 16 – the holder, 17 – the working tool, 18 – the tail, 19 – primary handle, 20 – trigger switch with a fixed working position, 21 – input of a supply cable, 22 – additional grip.

При разработке виброзащитных средств были выполнены исследования вибрационных параметров ручного электроинструмента, определены уровни локальной вибрации, а именно виброскорости, для обоснования дополнительных элементов виброзащиты. При измерении виброскорости ручного электроинструмента без дополнительных средств виброзащиты получены значения значительно превышающие нормативные требования. На рисунке 4 приведены графические зависимости параметров (виброскорости V , дБ для восьми октавных полос среднегеометрических частот f , Гц) ручного электроинструмента с виброзащитой и без виброзащиты.

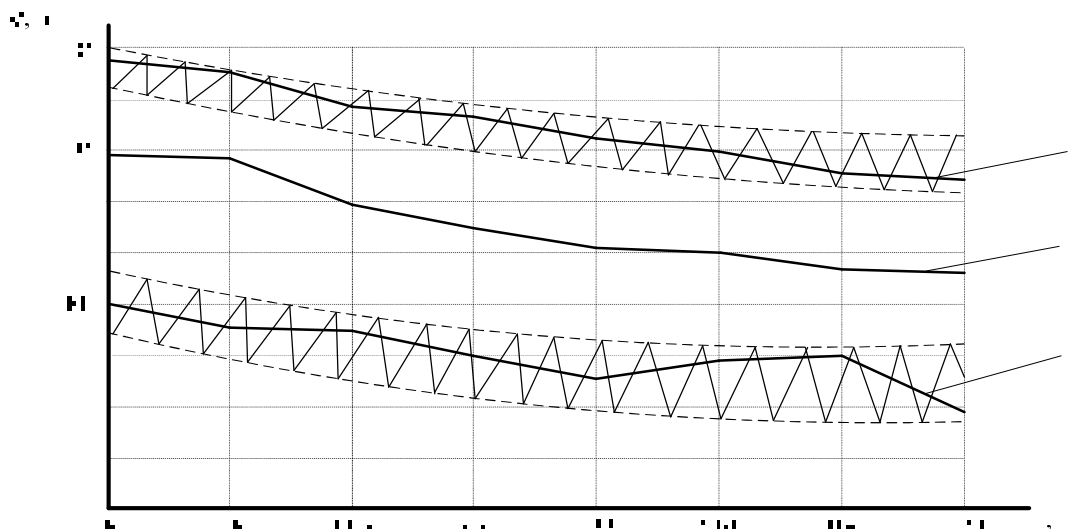


Рисунок 4 – Графические зависимости параметров вибрации ручного электроинструмента
Figure 4 – Graphical dependencies of manual vibration parameters power tools

1 – нормируемая величина виброскорости; 2 – уровень виброскорости электроинструмента с дополнительной виброзащитой; 3 – уровень виброскорости электроинструмента без дополнительной виброзащиты

1 – is the normable value of vibration speed; 2 – is the level of vibration speed of the power tool with additional vibration protection; 3 – the level of vibration speed of the power tool without additional vibration protection

Штриховые линии вдоль кривых 2 и 3 означают величины непрерывных измерений уровней виброскорости ручного электроинструмента. Здесь ломаные линии 2 и 3 есть усредненные значения виброскорости V , дБ.

Обсуждение. На основании выполненного анализа состояния электробезопасности и вибробезопасности при эксплуатации НЭМ и проведенных экспериментов по разработке электрозащитных средств, т.е. устройств защитного отключения, а также совершенствованию виброзащитных средств получены следующие данные по первому и второму направлениям исследования:

1. Исходя из результатов расчетов, приведенных в таблице 1, следует, что электрозащитная эффективность УЗО будет минимальной для всех случаев исходов электротравмирования человека с уставкой тока срабатывания равной 30 мА, но не меньше $T_{\text{ЭУЗО}} = 1$, характеризующей отсутствие УЗО или его несрабатывание. Значит, чем меньше ток уставки, тем больше электрозащитная эффективность, которая колеблется в пределах от 1,96 до 68,49 для приведенных опасных исходов, что соответствует снижению возникновения электротравматизма до 70%.

2. Экспериментальная проверка ручного электроинструмента с дополнительной виброзащитой показала значительное снижение виброскорости V , дБ, при этом для граничных значений среднегеометрической частоты $f = 8 \text{ Гц}$ V изменяется от 129 до 119 дБ = 1000 Гц V изменяется от 122 до 91 дБ, т.е. в среднем на 15-30 дБ, что составляет 20-30%.

Таким образом, значения виброскорости ручного электроинструмента с дополнительными средствами виброзащиты соответствуют нормативным требованиям [13].

Заключение. 1. Разработанные переносные устройства защитного отключения с регулируемой уставкой тока срабатывания, используемые для защиты электроустановок, в том числе нестационарных электрических машин, являющиеся портативными мобильными средствами, обеспечивающими снижение электротравматизма и выполняющими контроль состояния изоляции токоведущих частей электроустановок во избежание пожаров и возгораний.

2. Разработанные дополнительные средства виброзащиты ручного электроинструмента, используемого на объектах сельского хозяйства при выполнении различных видов работ, а также имеющего широкое применение в бытовых условиях среди сельского населения, позволяют сделать заключение о том, что улучшение виброизоляционных качеств обеспечивает сохранение безопасности НЭМ на высоком уровне.

Conclusions. 1. The developed portable residual current devices with adjustable actuation current setpoint, used to protect electrical installations, including non-stationary electrical machines, are portable mobile means that ensure the reduction of electrical injuries and monitor the condition of insulation of current-carrying parts of electrical installations in order to avoid fires and ignitions.

2. The developed additional means of vibration protection of hand-held power tools used at agricultural facilities when performing various types of work, as well as widely used in domestic conditions among the rural population, allow us to conclude that the improvement of vibration insulation qualities ensures the preservation of SPM safety at a high level.

Библиографический список

1. Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков: приказ от 28 декабря 2021 г. № 926.
2. Ерёмкина Т. В., Калинин А. Ф. Основные направления использования средств малой механизации в сельском хозяйстве. Ползуновский Вестник. 2014. № 4. С. 136-139.
3. Габова М. А., Никольский О. К. Модель функционирования системы техногенной безопасности электроустановок. Вестник АПК Ставрополя. 2021. №1(41). С. 19-23.
4. Российский статистический ежегодник. 2022: Стат. сб. Росстат. М., 2022. 691 с.
5. Балданов М. Б., Ерёмкина Т. В., Шаныгин И. А. Комплексная безопасность мобильной электротехники. Сельский механизатор. 2020. № 12. С. 46-48.
6. Nikolsky O. K., Shlionskaya Yu. D., Shanygin I. A. Modeling technology-related risks of electrical plants on production sites by analyzing man-machine systems. Russian Electrical Engineering. 2018. V. 89. No 12. Pp. 707-713.
7. Eryomina T. V., Galeguzova I. A., Shanygin I. A., Dasheev D. E., Aleksandrov N. V. To the Problem of Technogenic Safety of Electrical Installations at the Objects. Energy, Ecology and Technology in Agriculture: International Scientific and Practical Conference. 2022. No 2762. 020014-1 -020014-5.
8. Ерёмкина Т. В., Шаныгин И. А., Галегузова И. А. Анализ метода нечеткого множества в решении проблемы безопасности электроустановок. Известия Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2023. № 5 (103). С. 175-181.
9. Балданов М. Б., Ерёмкина Т. В., Шаныгин И. А. Обеспечение техногенной безопасности электроустановок на объектах АПК. Сельский механизатор. 2022. №10. С. 39-40.
10. Никольский О. К., Воробьев Н. П. Системный анализ безопасности электроустановок объектов АПК. Вестник Красноярского гос. аграрного ун-та. 2016. № 6. С. 69-76.
11. Воробьев Н. П., Мозоль В. И., Шаныгин И. А. Метод оценки рисков аварий в электрических сетях 10/0,4 кВ. Электротехника. 2018. № 12. С. 53-58.
12. Ерёмкина Т. В., Зонхоев Г. Б., Гармаев А. Л. Способы совершенствования системы защитного отключения в контексте электромагнитной совместимости. Вестник Восточно-Сиб. гос. ун-та технологий и управления. Улан-Удэ: 2017. №2. С. 5-11.
13. Санитарные нормы. Производственная вибрация в помещениях жилых и общественных зданий 2.2.4/2.1.8.566-96. М.: Инф. изд. центр Минздрава России, 1997.

References

1. On approval of recommendations for the selection of methods for assessing the levels of occupational risks and for reducing the levels of such risks: Order No. 926 dated December 28, 2021.
2. Eremina T. V., Kalinin A. F. The main directions of the use of small-scale mechanization in agriculture. Polzunovskiy Vestnik. 2014. № 4. Pp. 136-139.
3. Gabova M. A., Nikolskiy O. K. Model of the functioning of the system of technogenic safety of electrical installations. Bulletin of the Agro-Industrial Complex of the Stavropol Territory. 2021. № 1 (41). Pp. 19-23.
4. Russian Statistical Yearbook. 2022: Stat. Sb. Rosstat. Moscow, 2022. 691 p.
5. Baldanov M. B., Eremina T. V., Shanygin I. A. Integrated Safety of Mobile Electrical Engineering. Rural machine operator. 2020. № 12. Pp. 46-48.
6. Nikolsky O. K., Shlionskaya Yu. D., Shanygin I. A. Modeling technology-related risks of electrical plants on production sites by analyzing man-machine systems. Russian Electrical Engineering. 2018. V. 89. No 12. Pp. 707-713.
7. Eryomina T. V., Galeguzova I. A., Shanygin I. A., Dasheev D. E., Aleksandrov N. V. To the Problem of Technogenic Safety of Electrical Installations at the Objects. Energy, Ecology and Technology in Agriculture: International Scientific and Practical Conference. 2022. AIP Conf. Proc. 2762. 020014-1 -020014-5.
8. Eremina T. V., Shanygin I. A., Galeguzova I. A. Analysis of the fuzzy set method in solving the problem of safety of electrical installations. News of the Orenburg State Agrarian University. 2023. № 5 (103). Pp. 175-181.
9. Baldanov M. B., Eremina T. V., Shanygin I. A. Ensuring Technogenic Safety of Electrical Installations at Agricultural Facilities. Rural machine operator. 2022. № 10. Pp. 39-40.
10. Nikolskiy O. K., Vorobyov N. P. System Analysis of Safety of Electrical Installations of Agro-Industrial Complex Facilities. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2016. № 6. Pp. 69-76.
11. Vorobyov N. P., Mozol V. I., Shanygin I. A. Method for Assessing the Risks of Accidents in 10/0.4 kV Electric Networks. Electrical engineering. 2018. № 12. Pp. 53-58.
12. Eremina T. V., Zonkhoev G. B., Garmaev A. L. Ways to improve the residual current system in the context of electromagnetic compatibility. Bulletin of the Vostochno-Sib. State University of Technology and Management. Ulan-Ude: 2017. № 2. Pp. 5-11.
13. Sanitary standards. Industrial vibration in the premises of residential and public buildings 2.2.4/2.1.8.566-96. Moscow: Inf. Ed. Center of the Ministry of Health of Russia, 1997.

Информация об авторах

Ерёмина Тамара Владимировна, доктор технических наук, профессор, Почётный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры «Экология, недропользование и безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (Российская Федерация, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В), e-mail: ereminat.v@yandex.ru

Шаныгин Иван Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и автоматизированные системы управления», ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (Российская Федерация, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В), e-mail: i.shanygin@mail.ru

Галегузова Ирина Андреевна, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий и сельского хозяйства», ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (Российская Федерация, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В), e-mail: irina.hmeleva@yandex.ru

Author's Information

Eremina Tamara Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Higher Attestation Commission, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Department of Ecology, Subsoil Use and Life Safety, East Siberian State University of Technology and Management (Russian Federation, 670013, Ulan-Ude, Klyuchevskaya str., 40B), e-mail: ereminat.v@yandex.ru

Shanygin Ivan Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Automated Control Systems, East Siberian State University of Technology and Management (Russian Federation, 670013, Ulan-Ude, Klyuchevskaya str., 40B), e-mail: i.shanygin@mail.ru

Galeguzova Irina Andreevna, Senior Lecturer, Department of Power Supply of Industrial Enterprises and Agriculture, East Siberian State University of Technology and Management (Russian Federation, 670013, Ulan-Ude, Klyuchevskaya str., 40B), e-mail: irina.hmeleva@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-41

**FACTORS AFFECTING USAGE FIGURES AUTOMATED VEHICLES FOR LOADING
AND TRANSPORTING HAY-STRAW MATERIALS IN ROLLS**^{1,2}Ryadnov A. I., ¹Mechenkov V. V., ¹Fedorov A. V.¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation²Astrakhan State University
Astrakhan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Received 17.03.2024

Submitted 22.04.2024

Summary

Based on the analysis of the designs of technical means PR-18, TP-10-1, TPR-11, designed for loading balers of hay rolls formed by balers and their further transportation to the place of unloading, as well as loaders-transporters of hay rolls PTRS-1 and PTRS-2, loading hay rolls into one and two tiers without additional loading machines and transportation to the storage site, performing loading, transportation and unloading of hay rolls, and the features of their operation, three main groups of factors affecting the efficiency of using loaders-haulers of hay rolls are identified: technological, structural, technological and technical and economic.

Abstract

Introduction. The development of the agro-industrial complex of the Russian Federation is aimed at the development and implementation of modern technologies and technical means based on the latest achievements of Russian science. The use of technical means and technologies using automation and digitalization tools, as well as the use of robotic machines in the agro-industrial complex will significantly increase labor productivity and the quality of agricultural products. In addition, this will lead to increased economic efficiency of production. The introduction of highly efficient technologies in the agricultural sector of production is a strategic vector of scientific and technological progress of the agro-industrial complex in the modern world. The most important branches of agricultural production are crop production and livestock farming. At the same time, the main task of crop production is, in particular, a stable supply of high-quality feed to the livestock industry, including hay formed into rolls. Removing hay rolls from the field implies the implementation of a set of agrotechnical, organizational, technological, technical and economic measures, the development of which is impossible without knowledge of the main factors influencing the development of production and the most important indicators of the use of technical means used, in particular, in harvesting hay rolls from the field from hay-straw materials. **The purpose of the work** is to analyze the factors influencing the use of automated vehicles for loading and transporting hay and straw materials in rolls. **Materials and methods.** The results of the work are based on a detailed analysis of scientific articles, reports and presentations at scientific conferences related to the research of technical means for loading and

transporting hay and straw materials to storage sites, on the modern theory of the logic of science and the basic principles of the theory of efficiency in technology. **Results and discussion.** Loading and transporting bales are highly energy-intensive operations in cattle feed production. In addition, various loaders are used to load hay rolls. To reduce the amount of equipment used, reduce the labor intensity of loading hay rolls onto a vehicle platform, and reduce soil compaction of fields by running systems of machines, technical means are being developed with automatic loading of rolls onto the platform (combined technical means). The features of self-loading machines, such as PR-18, TP-10-1, TPR-11, which are also intended for transporting rolls to the place of unloading, are taken into account. The design features of the PTRS-1 and PTRS-2 hay roll loaders-transporters are also considered. These technical means do not require additional machines or mechanisms for loading them in rolls. In this case, rolls of hay are stacked in PTRS-1 in one tier, in PTRS-2 - in two tiers. As a result of the analysis of scientific works on the use of machines when loading rolls of straw hay materials onto technical means, transporting them to places of their storage and unloading, the following groups of factors were identified that influence the results of using automated vehicles for loading and transporting straw hay materials in rolls: technological, design and operational economic. **Conclusions.** Based on an analysis of the design, technological and operational features of technical means that carry out self-loading of rolls of straw hay materials and their transportation to storage sites, technological, design, operational and economic groups of factors influencing the use of automated vehicles for loading and transporting straw hay materials in rolls have been identified. Technological factors include: indicators of the quality of work performed, the average weight of one roll of hay-straw materials, and the provision of farm loaders and transporters. Design factors include: nominal load capacity, geometric parameters of hay rolls, capacity of the loader-transporter, method of unloading the rolls, traction class of the tractor used as part of the MTA, maximum speed of movement of the MTA, level of mechanization and automation of the mechanisms for loading rolls of hay-straw materials into the loader-transporter and their unloading. The operational and economic factors include: the level of reliability, efficiency and productivity of the loader-transporter of rolls of hay and straw materials.

Keywords: hay and straw materials, transportation of hay bales, loaders-transporters.

Citation. Ryadnov A. I., Mechenkov V. V., Fedorov A. V. Factors affecting usage figures automated vehicles for loading and transporting hay-straw materials in rolls. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 357-366 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-41.

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 631.374

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПОГРУЗКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ СЕНОСОЛОМИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В РУЛОНАХ

^{1,2}Ряднов А. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Меченков В. В., аспирант

¹Федоров А. В., аспирант

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет

г. Астрахань, Российская Федерация

Актуальность. Развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации направлено на разработку и внедрение современных технологий и технических средств, основанных на новейших достижениях российской науки. Применение технических средств и технологий с применением средств автоматизации и цифровизации, а также использование роботизированных машин в агропромышленном комплексе позволит существенно повысить производительность труда и качество сельскохозяйственной продукции. Кроме того, это приведет к повышению экономической эффективности производства продукции. Внедрение высокоэффективных технологий в аграрный сектор производства является стратегическим вектором научно-технического прогресса агропромышленного комплекса в современном мире. Важнейшими отраслями сельскохозяйственного производства являются растениеводство и животноводство. При этом основной задачей растениеводства является, в частности, стабильное обеспечение

отрасли животноводства высококачественными кормами, в том числе и сена, сформированного в рулоны. Уборка с поля рулонов сена подразумевает выполнение совокупности агротехнических, организационных, технологических, технических и экономических мероприятий, разработка которых невозможна без знаний основных факторов, влияющих на развитие производства и важнейшие показатели использования технических средств, применяемых, в частности, на уборке с поля рулонов из сеносоломистых материалов. **Цель работы** – анализ факторов, влияющих на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах. **Материалы и методы.** Результаты работы основаны на детальном анализе научных статей, отчетов и выступлений на научных конференциях, относящихся к исследованиям технических средств по погрузке и транспортировке сеносоломистых материалов к местам хранения, на современной теории логики науки и основных положениях теории эффективности в технике. **Результаты и обсуждение.** Погрузка и транспортировка рулонов являются высокоэнергоёмкими операциями при заготовке корма для крупного рогатого скота. Кроме того на погрузке рулонов сена применяют различные погрузчики. Для уменьшения количества используемой техники, снижения трудоёмкости загрузки рулонов сена на платформу транспортного средства, уменьшения уплотнения почвы полей ходовыми системами машин разрабатываются технические средства с автоматической загрузкой рулонов на платформу (комбинированные технические средства). Учтены особенности самозагружающихся машин, таких как ПР-18, ТП-10-1, ТПР-11, которые предназначены еще и для транспортировки рулонов к месту их разгрузки. Рассмотрены также конструктивные особенности погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена ПТПС-1 и ПТПС-2. Для данных технических средств не требуются дополнительные машины или механизмы для их загрузки рулонами. При этом рулоны сена укладываются в ПТПС-1 в один ярус, в ПТПС-2 – в два яруса. В результате анализа научных работ по использованию машин при загрузке рулонами сеносоломистых материалов на технические средства, транспортировке к местам их хранения и разгрузке определены следующие группы факторов, влияющих на результаты использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах: технологические, конструктивные и эксплуатационно-экономические. **Выводы.** На основе анализа конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей технических средств, осуществляющих самозагрузку рулонов из сеносоломистых материалов и их транспортировку к местам хранения, определены технологические, конструктивные и эксплуатационно-экономические группы факторов, влияющих на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах. К технологическим факторам отнесены: показатели качества выполняемых работ, средняя масса одного рулона сеносоломистых материалов, обеспеченность хозяйства погрузчиками-транспортировщиками. К конструктивным факторам отнесены: номинальная грузоподъемность, геометрические параметры рулонов сена, вместительность погрузчика-транспортировщика, способ выгрузки рулонов, тяговый класс применяемого трактора в составе МТА, максимальная скорость движения МТА, уровень механизации и автоматизации механизмов погрузки рулонов сеносоломистых материалов в погрузчик-транспортировщик и их выгрузки. К эксплуатационно-экономическим факторам отнесены: уровень надежности, экономичность и производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сеносоломистых материалов.

Ключевые слова: сеносоломистые материалы, транспортировка рулонов сена, погрузчики-транспортировщики.

Цитирование. Ряднов А. И., Меченков В. В., Федоров А. В. Факторы, влияющие на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 357-366. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-41.

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. Эффективное развитие важнейших отраслей сельскохозяйственного производства Российской Федерации – растениеводства и животноводства неразрывно связано с разработкой и внедрением современных технологий и технических средств, основанных на новейших достижениях российской науки. Применение технических средств и технологий автоматизации, цифровизации и роботизации машин, а также

внедрение высокоэффективных технологий в аграрный сектор производства является стратегическим вектором научно-технического прогресса агропромышленного комплекса в современном мире.

Одной из основных задач растениеводства является стабильное обеспечение отрасли животноводства высококачественными кормами. При этом эффективность отрасли животноводства во многом зависит от уровня кормообеспеченности. Главным сырьем для заготовки кормовой базы остаются многолетние травы [1]. Высококачественное сено является одним из главных видов кормов крупного рогатого скота. Стабильное обеспечение отрасли животноводства высококачественными кормами возможно при выполнении совокупности агротехнических, организационных, технологических, технических и экономических мероприятий. На качество сена влияет множество факторов: ботанический состав сена, условия хранения, время уборки, погодные условия, условия сушки [1, 2].

Создание специализированных машин, объединяющих операции по подбору и транспортировке сена, спрессованного в рулоны, способствует повышению производительности труда, качества сельскохозяйственной продукции и экономической эффективности производства продукции [3]. При этом качество сена в рулонах должно удовлетворять основным требованиям к корму [4]. Разработка таких машин невозможна без знаний основных факторов, влияющих на важнейшие показатели их использования в реальных условиях сельскохозяйственного производства.

Цель работы – анализ факторов, влияющих на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах.

Материалы и методы. Результаты работы основаны на детальном анализе научных статей, отчетов и выступлений на научных конференциях, относящихся к исследованиям технических средств по погрузке и транспортировке сеносоломистых материалов к местам хранения, на современной теории логики науки и основных положениях теории эффективности в технике.

Результаты и обсуждение. Анализ научных трудов, посвященных эксплуатации технических средств по загрузке рулонов сена на транспортное средство, а также условий их эксплуатации, позволяет выявить факторы, влияющие на эффективность работы технических средств, в том числе и погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена, оборудованных системами автоматического управления механизмами и устройствами [5, 6].

Погрузка и транспортировка рулонов – достаточно энергоемкие операции, занимающие значительную долю объема работ по заготовке кормов. При этом на погрузке рулонов сена применяют различные технические средства.

В целях уменьшения количества используемой техники на поле, снижения трудоемкости загрузки рулонов на платформу транспортного средства для последующей транспортировки к месту разгрузки, снижения уплотнения почвы полей ходовыми системами машин разрабатываются технические средства с автоматической загрузкой рулонов на платформу (комбинированные технические средства) [7, 8, 9].

На данном этапе развития агропромышленного комплекса существует ряд самозагружающихся машин, таких как ПР-18 (рисунок 1а), ТП-10-1 (рисунок 1б), ТПП-11 (рисунок 1в), предназначенных для дальнейшей транспортировки к месту разгрузки сформированных пресс-подборщиками рулонов сена.

Погрузочное устройство приводится в рабочее положение механизатором. При движении МТА механизатор подводит устройство захвата к расположенному на поле рулону таким образом, чтобы оно оказалось между рычагами захвата. Корректировка направления движения погрузочного устройства для захвата и загрузки рулона в платформу также осуществляется механизатором. Данные погрузчики позволяют загрузить рулоны на платформу в два ряда, механизм толкателя продвигает рулоны в конец платформы до полной загрузки.

Отличительной особенностью является возможность подбора и загрузки рулонов по обеим сторонам транспортировщика в зависимости от конструкции технического средства. Погрузчик-транспортировщик ТП-10-1 при загрузке рулонов длиной 1,2 м в три ряда, загружает верхний ряд так, чтобы рулоны располагались на стыках нижних рядов во избежание падения крайних рулонов (рисунок 2).

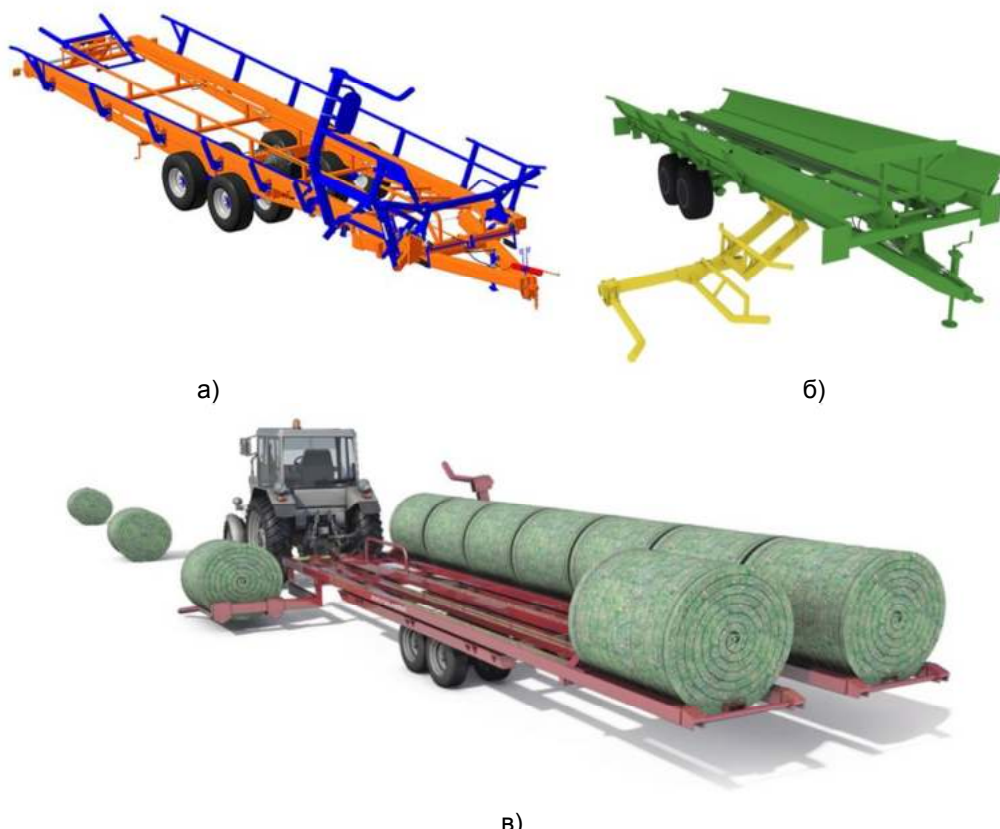


Рисунок 1 – Транспортировщики рулонов: а) ПР-18; б) ТП-10-1; в) ТПР-11 /
Figure 1 – Roll transporters: a) PR-18; b) TP-10-1; c) TPR-11

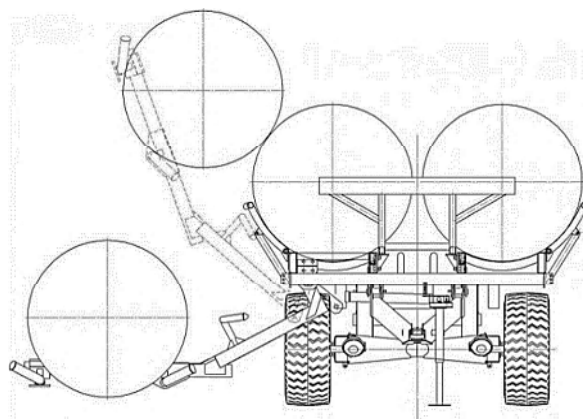


Рисунок 2 – Схема погрузки рулонов в три ряда /
Figure 2 – The scheme of loading rolls in three rows

Разработаны также погрузчики-транспортировщики рулонов сена ПТРС-1 (патент РФ №2728961) и ПТРС-2 (патент РФ №2747569), осуществляющие погрузку рулонов сена соответственно в один и два яруса без дополнительных погрузочных машин и транспортировку к месту хранения (рисунок 3).

Рассмотрев принцип работы погрузчиков-транспортировщиков ПТРС-1 и ПТРС-2, можно отметить, что загрузка рулонов из сеносоломистых материалов на их платформы осуществляется при помощи установленных соответственно на каждом из них гидравлического механизма погрузки и без остановки технического средства.

Управление работой системы захвата и загрузки рулона, механизмом заполнения платформы, корректировка направления движения устройства захвата к расположенному на поле рулону осуществляется механизатором, что, безусловно, малоэффективно.

В целях повышения эффективности работы рассмотренных ранее технических средств, следует разрабатывать и применять технологии автоматизации на основе электронных систем управления, датчиков, систем распознавания объектов и т.д.

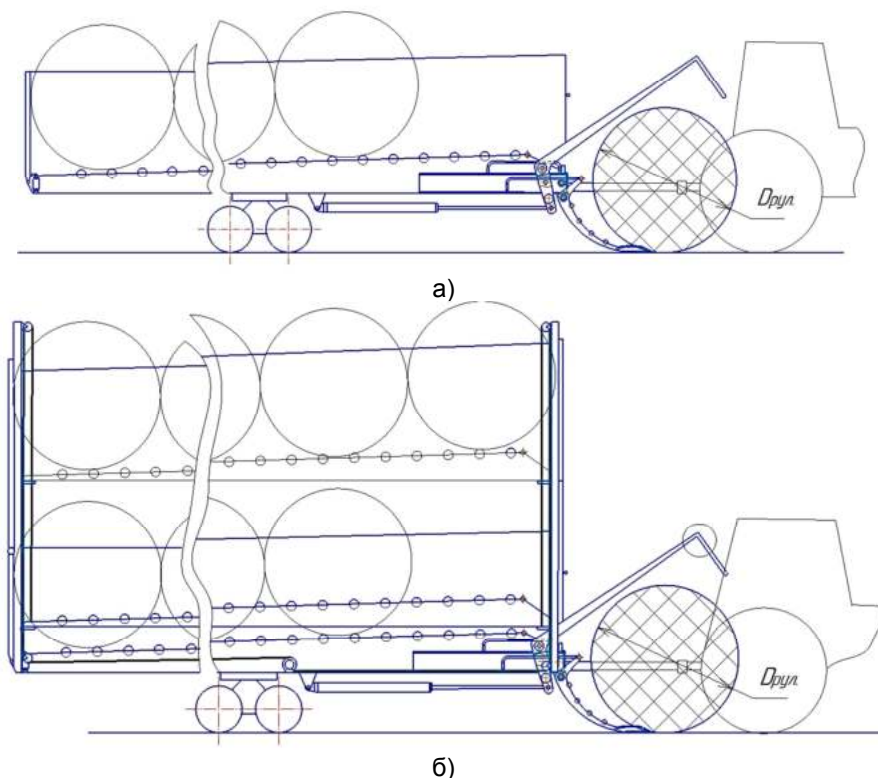


Рисунок 3 – Схемы погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена ПТРС-1 (а) и ПТРС-2 (б) /
Figure 3 – Schemes of loaders-transporters of hay rolls PRS-1 (a) and PTS-2 (b)

Передовые технологии в области программного обеспечения, сенсорной технологии, электроники позволяют повышать уровень автоматизации технических средств АПК.

Автоматизация процесса управления движением агрегируемого технического средства путем внедрения современных высокоинтеллектуальных систем является одним из немаловажных факторов повышения эффективности использования машин в сельскохозяйственной сфере [10, 11, 12].

Применительно к конструкции погрузчика-транспортировщика рулонов сена необходимо установить, в первую очередь, такую систему автоматического управления, которая наряду с распознаванием рулона, находящегося на поле и ближайшего по расположению к МТА, обеспечивающую переключение гидрораспределителя управления устройствами захвата рулона сена и его подъема на платформу погрузчика-транспортировщика. Использование такой системы автоматического управления позволит существенно снизить затраты труда на операциях по уборке рулонов из сеносоломистых материалов.

Также повышению эффективности работы агрегируемого технического средства способствует оптимизация работы трактора с погрузчиком-транспортировщиком (оптимизация расхода топлива за счет выбора оптимальной скорости движения МТА между расположенными рулонами сена на поле с учетом затраченного времени загрузки рулона на платформу).

Внедрение систем автоматизации способствует не только снижению трудозатрат механизатора, но и повышению уровня комфорта условий труда.

Заготовка корма из сеносоломистых материалов, спрессованных в тюки или рулоны, с применением высокопроизводительных, автоматизированных, комбинированных технических средств, созданных на основе современных технологий автоматизации, цифровизации и роботизации способствуют повышению экономической эффективности, ресурсосбережению и повышению производительности в агропромышленном комплексе.

Таким образом, можно выделить следующие группы факторов, влияющих на результаты использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах: технологические, конструктивные и эксплуатационно-экономические (рисунок 4).

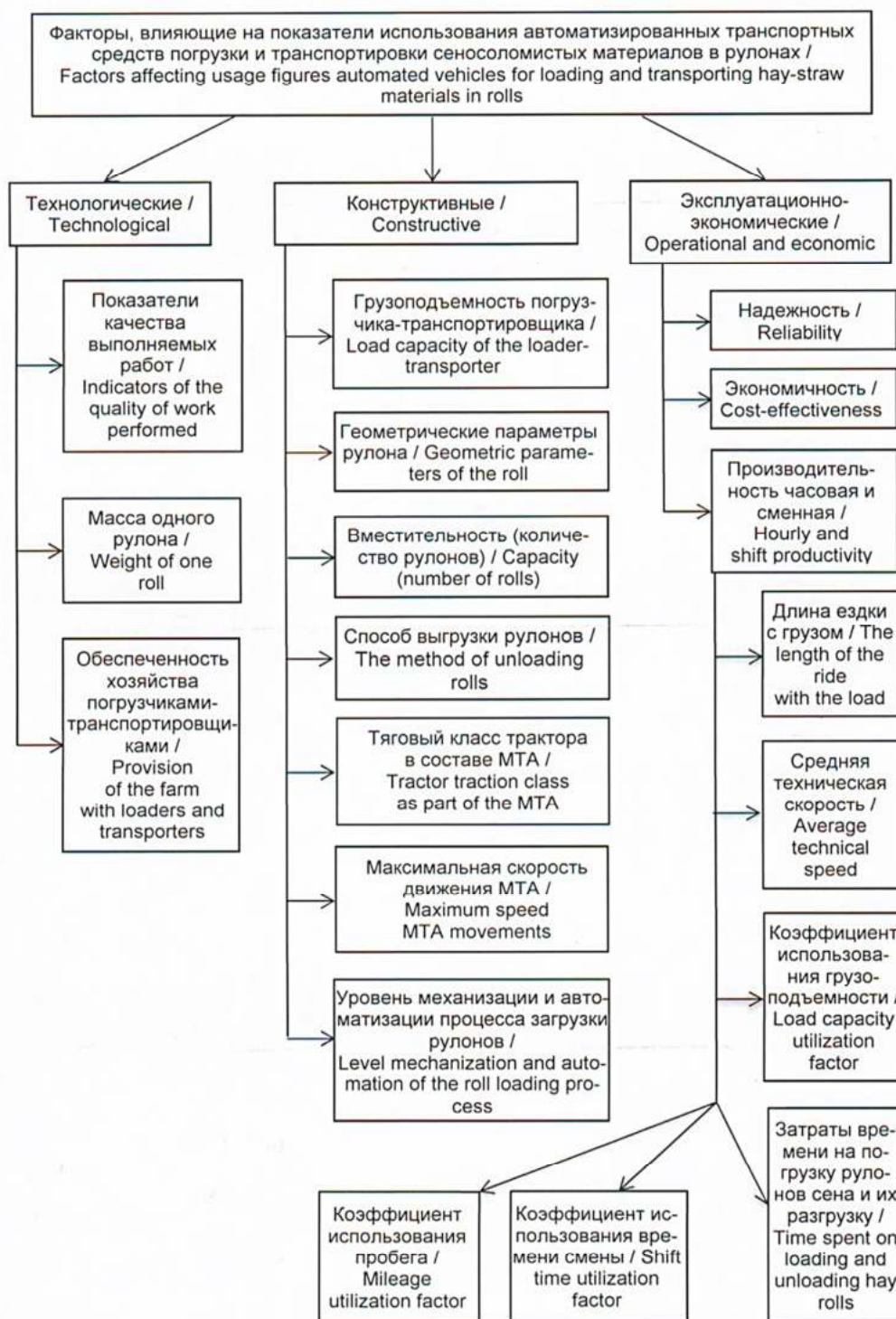


Рисунок 4 – Факторы, влияющие на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах
Figure 4 – Factors affecting usage figures automated vehicles for loading and transporting hay-straw materials in rolls

К технологическим факторам можно отнести показатели качества выполняемых работ (возможные потери одного или нескольких рулонов сена во время транспортировки, повреждаемость обвязочного шпагата или пленки), среднюю массу одного рулона сеносоломистых материалов, обеспеченность хозяйства погрузчиками-транспортировщиками для своевременного освобождения поля от рулонов сеносоломистых материалов для выполнения очередных работ на данном поле.

К конструктивным факторам отнесены: номинальная грузоподъемность, геометрические параметры рулонов сеносоломистых материалов (диаметр и высота), вместительность погрузчика-транспортировщика (количество рулонов сеносоломистых материалов, которые можно погрузить в погрузчик-транспортировщик без превышения номинальной грузоподъемности), способ выгрузки рулонов (с использованием или без использования дополнительных машин или механизмов), тяговый класс применяемого трактора в составе МТА, максимальная скорость движения МТА, уровень механизации и автоматизации механизмов погрузки рулонов сеносоломистых материалов в погрузчик-транспортировщик и их выгрузки (степень участия механизатора в управлении механизмами погрузки рулонов сена в погрузчик-транспортировщик и их выгрузки).

Эксплуатационно-экономические факторы – это уровень показателей надежности погрузчика-транспортировщика в целом и его механизмов и систем, экономичность (затраты труда и средств), производительность часовая и сменная, которая зависит от таких его показателей, как номинальная грузоподъемность, длина ездки с грузом, средняя техническая скорость, коэффициенты использования грузоподъемности, пробега и времени смены, а также затраты времени на погрузку рулонов сеносоломистых материалов и их выгрузку.

Выводы. На основе анализа конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей технических средств, осуществляющих самозагрузку рулонов из сеносоломистых материалов и их транспортировку к местам хранения, определены технологические, конструктивные и эксплуатационно-экономические группы факторов, влияющих на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах.

К технологическим факторам отнесены: показатели качества выполняемых работ, средняя масса одного рулона сеносоломистых материалов, обеспеченность хозяйства погрузчиками-транспортировщиками.

К конструктивным факторам отнесены: номинальная грузоподъемность, геометрические параметры рулонов сена, вместительность погрузчика-транспортировщика, способ выгрузки рулонов, тяговый класс применяемого трактора в составе МТА, максимальная скорость движения МТА, уровень механизации и автоматизации механизмов погрузки рулонов сеносоломистых материалов в погрузчик-транспортировщик и их выгрузки.

К эксплуатационно-экономическим факторам отнесены: уровень надежности, экономичность и производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сеносоломистых материалов.

Conclusions. Based on an analysis of the design, technological and operational features of technical means that carry out self-loading of rolls of straw hay materials and their transportation to storage sites, technological, design, operational and economic groups of factors influencing the use of automated vehicles for loading and transporting straw hay materials in rolls have been identified.

Technological factors include: indicators of the quality of work performed, the average weight of one roll of hay-straw materials, and the provision of farm loaders and transporters.

Design factors include: nominal load capacity, geometric parameters of hay rolls, capacity of the loader-transporter, method of unloading the rolls, traction class of the tractor used as part of the MTA, maximum speed of movement of the MTA, level of mechanization and automation of the mechanisms for loading rolls of hay-straw materials into the loader-transporter and their unloading.

The operational and economic factors include: the level of reliability, efficiency and productivity of the loader-transporter of rolls of hay and straw materials.

Библиографический список

- Капов С. Н., Орлянский А. В., Лиханос В. А., Орлянская И. А. Анализ структуры технологического процесса заготовки сенажа в рулонах, упакованных в пленку. Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 1 (45). С. 11-17.
- Маклахов А. В., Углин В. К., Никифоров В. Е. Совершенствование технологии заготовки сена в рулонах. Владимирский земледелец. 2017. № 4 (82). С. 28-30.

3. Новиков М. А., Павлов С. Б. Повышение эффективности перевозки рулонов льнотресты на примере ООО «Уторгошский льнозавод» Новгородской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (64). С. 84-92.
4. McIntosh D. W. Forage harvest timing impact on biomass quality from native warm-season grass mixtures. Agronomy Journal. 2016. Vol. 108. Iss. 4. P. 1524-1530.
5. Кучин Н. Н., Мансуров А. П., Жужин М. С., Ломаченко О. А. Проблемы сохранения сенажа в рулоне, упакованного в пленку. Аграрный научный журнал. 2020. № 6. С. 104-108.
6. Ряднов А. И., Фандеев С. Ю. Выбор высокоэффективной технологии уборки рулонов сена из суданской травы. Известия НВ АУК. 2022. № 1 (65). С. 370-380.
7. Ряднов А. И. Метод выбора транспортных средств при уборке сельскохозяйственных культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 349-356.
8. Лабодский И. М. Технологические особенности и техническое обеспечение заготовки сена. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. Минск: Издательство: «Беларуская навука», 2018. С. 174-180.
9. Гусков Ю. А., Тихонкин И. В., Блынский Ю. Н. Использование специализированных транспортных средств в технологиях сбора и транспортировки прессованной в рулоны растительной массы в условиях Сибири. Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 2 (46). С. 146-152.
10. Федоренко В. Ф. О технической модернизации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2021. № 5 (287). С. 2-6.
11. Чирков Е. П., Бабьяк М. А. Инновационные направления технологического и технического обновления кормопроизводства в России. Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3 (47). С. 36-41.
12. Чирков Е. П. Инновационные направления интенсификации кормопроизводства. Актуальные вопросы экономики и агробизнеса. Брянск, 2021. С. 180-185.

References

1. Kapov S. N., Orlyansky A.V., Likhanos V. A., Orlyanskaya I. A. Analysis of the structure of the technological process of haylage harvesting in rolls packed in film. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2019. No 1 (45). Pp. 11-17.
2. Maklakhov A. V., Uglin V. K., Nikiforov V. E. Improving the technology of harvesting hay in rolls. Vladimirsky husbandman. 2017. No. 4 (82). Pp. 28-30.
3. Novikov M. A., Pavlov S. B. Improving the efficiency of transportation of flax rolls on the example of LLC Utorgoshsky flax plant in the Novgorod region. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2021. No.3 (64). Pp. 84-92.
4. McIntosh D. W. Forage harvest timing impact on biomass quality from native warm-season grass mixtures. Agronomy Journal. 2016. Vol. 108. Iss. 4. Pp. 1524-1530.
5. Kuchin N. N., Mansurov A. P., Zhuzhin M. S., Lomachenko O. A. Problems of preserving haylage in a roll packed in a film. Agrarian Scientific Journal. 2020. No 6. Pp. 104-108.
6. Ryadnov A. I., Fandeev S. Yu. The choice of a highly efficient technology for harvesting hay rolls from Sudanese grass. Izvestia NV AUK. 2022. No 1 (65). Pp. 370-380.
7. Ryadnov A. I. Method of choosing vehicles for harvesting agricultural crops. Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: Sciences and higher professional education. 2020. No 1 (57). Pp. 349-356.
8. Labotsky I. M. Technological features and technical support of hay harvesting. Mechanization and electrification of agriculture. An interdepartmental thematic collection. Minsk: Publishing House: "Belarusskaya Navuka", 2018. Pp. 174-180.
9. Guskov Yu. A., Tikhonkin I. V., Blynsky Yu. N. The use of specialized transportation tools in technologies for collecting and transporting rolled plant matter in Siberia. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2018. No 2 (46). Pp. 146-152.
10. Fedorenko V. F. On the technical modernization of agriculture. Machinery and equipment for the village. 2021. No 5 (287). Pp. 2-6.
11. Chirkov E. P., Babyak M. A. Innovative directions of technological and technical innovation of feed production in Russia. Machinery and technologies in animal husbandry. 2022. No.3 (47). Pp. 36-41.
12. Chirkov E. P. Innovative directions of intensification of feed production. Current issues of economics and agribusiness. Bryansk, 2021. Pp. 180-185.

Информация об авторах

Ряднов Алексей Иванович, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26) и профессор кафедры «Агротехнологий» ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20а.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Меченков Владимир Владимирович, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7471-6650>, e-mail: mechenkov@mail.ru

Федоров Алексей Валерьевич, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>, e-mail: alex_fedorow_97@mail.ru

Author's Information

Ryadnov Aleksey Ivanovich, Honored worker of the higher school of the Russian Federation, doctor of agricultural Sciences, Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave. 26) and Professor of the Department of Agricultural Technologies of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Astrakhan State University named after V. N. Tatishcheva (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishcheva st., 20a), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Mechenkov Vladimir Vladimirovich, graduate student of the department "Operation and technical service of machines in the agro-industrial complex" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Agrarian University" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave. 26.), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7471-6650>, e-mail: mechenkov@mail.ru

Fedorov Aleksey Valerievich, graduate student of the department "Operation and technical service of machines in the agro-industrial complex" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Agrarian University" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave. 26.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>, e-mail: alex_fedorow_97@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-42

ELECTRIC MOBILE EQUIPMENT IN AGRICULTURE: PROBLEMS AND PROSPECTS¹Fadeev I. V., ²Uspensky I. A., ³Fomin S. D., ²Yukhin I. A., ⁴Limarenko N. V., Filushin O. V.

¹*Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev
Cheboksary, Russian Federation*

²*Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation*

³*Volgograd State Agrarian University, Volgograd
Russian Federation*

⁴*Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

Received 28.02.2024

Submitted 20.03.2024

Summary

The article summarizes information on the current state and prospects for the use of electric mobile equipment in agriculture, which is becoming increasingly relevant in our time. However, lithium mining and the production of lithium-ion batteries (LIB) for it are labor-intensive and environmentally harmful processes. The high rate of conversion of automotive and tractor equipment to electric drive may lead to a lithium shortage on Earth. Technologies for processing spent LIBs, extracting lithium from them, and recycling them are high cost and are under research.

Abstract

Introduction. In recent years, much attention has been paid to solving environmental problems associated with the production, operation and disposal of vehicles. In this regard, electric transport is becoming popular and its market is actively developing throughout the world. The emergence of electric tractors in the agricultural industry is very important, the use of which is becoming increasingly relevant in our time, due to the reduction in fuel costs and negative impacts on the environment. **Object.** The object of research is electric mobile equipment. **Materials and methods.** The most substantiated a priori information on scientific decisions in the area under consideration was used as the source material for the research. The research methodology is based on collecting information, studying, analyzing and processing data. **Results and conclusion.** Work on creating electric vehicles around the world has especially intensified over the past 10-12 years. The energy source in them is lithium-ion batteries (LIB), in which the cathode includes lithium, iron, manganese, cobalt and their compounds with phosphorus, oxygen; the electrolyte contains ethylene carbonate, propylene carbonate, dimethyl carbonate and fluoroethylene carbonate. Lithium mining entails inevitable environmental disruptions. During the production of LIBs, significant emissions into the atmosphere occur, which are comparable to the production of traditional cars. The rapid pace of electrification of automotive technology in the world can lead to a lithium shortage on Earth, which can be partially solved by extracting lithium from used LIBs by recycling them, which will simultaneously solve the issue of their disposal. To extract lithium from processing products, pyrometallurgy, hydrometallurgy, and electrochemical extraction technologies are used, which are still under research. The massive conversion of automotive and tractor equipment to electric drive should be implemented systematically and only after the technologies for processing and disposal of used LIB have been improved. As an alternative to using LIB, you can consider the technology of wireless transmission of electricity over a distance.

Keywords: *electric mobile machinery, lithium-ion batteries, vehicle recycling, vehicles.*

Citation. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Fomin S. D., Yukhin I. A., Limarenko N. V., Filushin O. V. Electric mobile equipment in agriculture: problems and prospects. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 366-376 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-42.

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 62-83

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОБИЛЬНАЯ ТЕХНИКА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**¹Фадеев И. В., доктор технических наук, доцент²Успенский И. А., доктор технических наук, профессор³Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор²Юхин И. А., доктор технических наук, профессор⁴Лимаренко Н. В., доктор технических наук, доцент²Филюшин О. В., кандидат технических наук¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева»

г. Чебоксары, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева»

г. Рязань, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

⁴ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. В последние годы большое внимание уделяется решению экологических проблем, связанных с производством, эксплуатацией и утилизацией транспортных средств. В связи с этим электрический транспорт становится популярным и его рынок активно развивается во всем мире. Очень важно появление электротракторов в агропромышленной отрасли, применение которых становится все более актуальным в наше время, что объясняется снижением затрат на топливо и негативного воздействия на окружающую среду. **Объект.** Объектом исследования является электрическая мобильная техника. **Материалы и методы.** В качестве исходного материала для исследования использовали наиболее обоснованную априорную информацию по научным решениям в рассматриваемой сфере. Методика исследования основана на сборе информации, изучении, анализе и переработке данных. **Результаты и выводы.** Работы по созданию машин на электрической тяге во всем мире особенно активизировались за последние 10-12 лет. Источником энергии в них служат литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), в которых катод включает литий, железо, марганец, кобальт и их соединения с фосфором, кислородом, в электролите присутствуют этиленкарбонат, пропиленкарбонат, диметилкарбонат и фторэтиленкарбонат. Добыча лития влечет за собой неизбежные нарушения состояния окружающей среды. При производстве ЛИА имеют место существенные выбросы в атмосферу, которые сопоставимы с производством традиционных автомобилей. Бурные темпы электрификации автотракторной техники в мире могут привести к дефициту лития на Земле, который частично можно решить извлечением лития из отработанных ЛИА путем их переработки, что одновременно решит вопрос их утилизации. Для извлечения лития из продуктов обработки применяют технологии пирометаллургии, гидрометаллургии, электрохимической экстракции, которые пока находятся в стадии исследования. Массовый перевод автотракторной техники на электрический привод должен реализовываться планомерно и только после совершенствования технологий переработки и утилизации отработанных ЛИА. В качестве альтернативы использования ЛИА можно рассмотреть технологию беспроводной передачи электроэнергии на расстояние.

Ключевые слова: электрическая мобильная техника, литий-ионные аккумуляторы, утилизация транспортных средств, транспортные средства.

Цитирование. Фадеев И. В., Успенский И. А., Фомин С. Д., Юхин И. А., Лимаренко Н. В., Филюшин О. В. Электрическая мобильная техника в сельском хозяйстве: проблемы и перспективы. *Известия НВ АУК*. 2024. 2(74). 366-376. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-42.

Авторский вклад. Все авторы, указанные в настоящей статье, принимали непосредственное участие в проведении исследований и обработке полученных данных. Все авторы ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последние годы все больше внимания уделяется решению экологических проблем, связанных с производством, эксплуатацией и утилизацией транспортных средств [1, 2, 3]. В связи с этим электрические транспортные средства становятся популярными и их рынок активно развивается как в России, так и в мире в целом [4, 5, 6, 7, 8].

Очень важно применение электрических тракторов в агропромышленной отрасли страны, которое становится все более актуальным в наше время. Эти транспортные средства с электрическим двигателем обеспечивают не только снижение затрат на топливо, но

и имеют потенциал для сокращения негативного воздействия на окружающую среду [9, 10, 11, 12]. Они представляют собой вид устойчивого и экологически чистого транспорта, что очень важно для сельского хозяйства, где сохранение окружающей среды и забота о природных ресурсах являются одними из основных задач [13, 14, 15, 16].

Но все ли безопасно при использовании электрической мобильной техники? Основной проблемой является их утилизация. В настоящее время технология утилизации традиционной мобильной техники разработана, а с утилизацией электрической мобильной техники пока не все ясно, особенно их литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) [17, 18], содержащих такие токсичные металлы, как кобальт, никель и марганец, негативно влияющие на окружающую среду [19, 20, 21].

В связи с вышеизложенным исследования в данном направлении являются актуальными и востребованными.

Цель исследования – обобщение информации по современному состоянию и перспективах развития электрической мобильной техники в сельском хозяйстве.

Материалы и методы. Объектом исследования является электрическая мобильная техника. В качестве исходного материала для исследования использовали наиболее обоснованную априорную информацию по научным решениям в рассматриваемой сфере. Методика исследования в работе основана на сборе информации, изучении, анализе и переработке данных.

Результаты и обсуждение. По мнению авторов [1, 22, 23], параллельно с разработкой тракторов с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) разрабатывались машины с электрической тягой в виде электролебедок и электротракторов. В случае с электролебедкой рабочая машина передвигалась по полю с помощью троса, который наматывался на барабан с электродвигателем, установленный стационарно. Электротракторы в сравнении с электролебедками были более универсальными и маневренными, поэтому их разработке уделялось больше внимания [1, 22, 23].

Начиная с конца 20-х до середины 50-х годов прошлого столетия в Советском Союзе шла интенсивная работа по созданию электротракторов (Ильин В. В. Электрокарт с гибридной системой питания силовой установки / В. В. Ильин, И. В. Фадеев // В сборнике: Автомобильный транспорт: эксплуатация, сервис, подготовка кадров. – Чебоксары, 2023. – С. 42-47). Было разработано около тридцати разных конструкций электротракторов с питанием через кабель. Однако, все эти конструкции не выдержали испытаний.

Первый работоспособный трактор на электрической тяге ВИМЭ-2 создан профессором Листовым П. Н. и инженером Стеценко В. Г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства в 1937 году [1]. Тяговый электродвигатель подключался к электростанции с помощью гибкого кабеля, который наматывался на барабан, расположенный под капотом. Для этого трактор оснащался специальным механизмом и стрелой (рисунок 1).

Расход электроэнергии на обработку одного гектара почвы в условном исчислении равнялся 45 кВт·ч [1].

В начале 50-х годов прошлого столетия в Советском Союзе объем добычи нефти не удовлетворял потребностям страны в дизельном топливе и бензине [24, 25], поэтому электрификация сельскохозяйственных работ в колхозах была актуальной и востребованной. На небольших реках сооружались ГЭС: Данковская, Кузьминская, Ново-Никольская, Расыпухинская и другие [26, 27]. В 1952 году начат выпуск электротрактора ВИМЭ-2, произведено более 30 штук. С освоением новых месторождений и с увеличением объема добычи нефти востребованность разработки электротракторов снизилась и вскоре работы в этом направлении были свернуты. Однако идея использования электрической мобильной техники в сельском хозяйстве актуальна и сегодня, так как маршруты и режимы работы тракторов заранее определены и электрическая техника вполне может заменить тракторы с дизельным двигателем [28, 29].

Работы по созданию машин на электрической тяге во всем мире особенно активизировались за последние 10-12 лет [30, 31, 32].

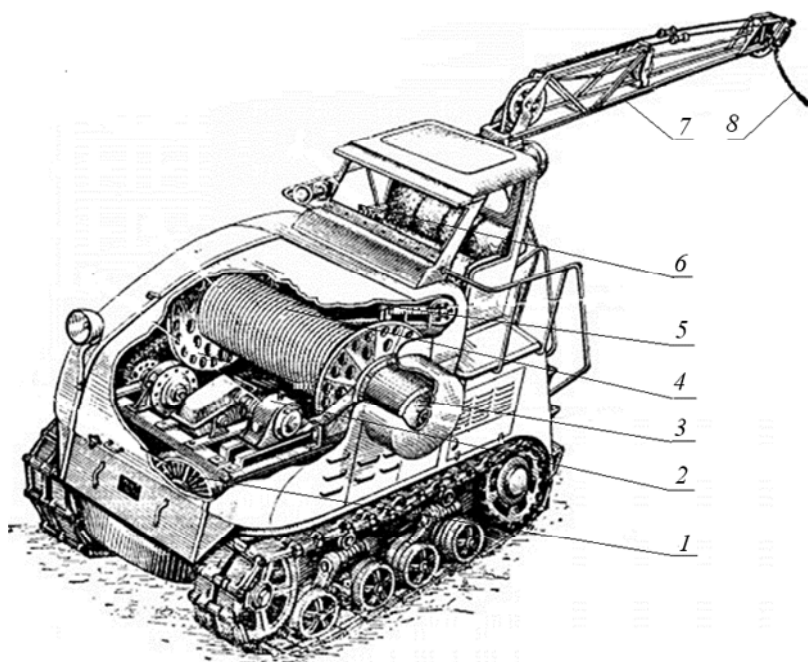


Рисунок 1 – Электротрактор ВИМЭ-2:

1 – тяговый электродвигатель; 2 – электродвигатель для барабана; 3 – устройство, передающее электрический ток к тяговому электродвигателю; 4 – барабан; 5 – ролик для направления кабеля по барабану; 6 – рычаги управления; 7 – стрела для приема кабеля; 8 – кабель

Figure 1 – Electric tractor VIME-2:

1 – traction motor; 2 – electric motor for the drum; 3 – device that transmits electric current to the traction motor; 4 – drum; 5 – roller for guiding the cable along the drum; 6 – control levers; 7 – boom for receiving cable; 8 – cable

Так, в российской компании MOBEL на базе трактора «Беларус-920» сконструирован электротрактор, который укомплектован электродвигателем мощностью 60 кВт и ЛИА, имеющим емкость 56 кВт·ч (MOBEL продолжает собирать инновационный электротрактор Power Group (wordpress.com). <https://rusipower.wordpress.com/2011/07/27/new/> (дата обращения: 16.02.2024)). В настоящее время имеется возможность использования на этих тракторах отечественного тягового электрического двигателя, разработанного компанией-резидентом Сколково «Априорные решения машин» (АРМ) и успешно прошедшего все тесты. Основным заказчиком электродвигателей станет Чебоксарский завод силовых агрегатов, который планирует использовать их для производства тракторов и другой хозяйственной электротехники. Этой же компанией и компанией «Актив Техно» создан электротрактор КМ «Универсал», прототипные образцы которого прошли испытания.

Американским производителем тракторов Monarch Tractor собран автономный электротрактор с технологией Smart с двигателем мощностью 30 кВт (пиковая мощность до 60 кВт).

Индийская компания Escorts Group разработала электрический трактор Farmtrac FT25G с двигателем мощностью 18,5 кВт и продолжительностью работы на одной зарядке ЛИА до 5 часов.

Электрический трактор, собранный в турецкой компании ZY Electric Tractor, развивает мощность около 120 кВт и может проработать на одной зарядке ЛИА около 6 часов в зависимости от условий эксплуатации.

Компания Sepp Knusel (Швейцария) серийно производит электротрактор Rigitrac SKE 40 Electric, оснащенный двигателем мощностью 40 кВт (максимальная мощность до 64 кВт).

Немецкая фирма Fendt разработала электротрактор e100 Vario, который оснащен 50-киловаттным двигателем и ЛИА емкостью 100 кВт ч. Трактор может без подзарядки проработать до пяти часов (ТОП-5 новых электротракторов, уже доступных на рынке ГлавПахарь Дзен (dzen.ru) <https://dzen.ru/a/YtbPJjYkTxFub1X> (дата обращения: 16.02.2024)).

Источником энергии в таких тракторах служат ЛИА [33, 34], в которых каждый компонент содержит большое количество химических элементов (преимущественно металлов). В активном составе катода есть литий, железо, марганец, кобальт (Li, Fe, Mn, Co) и их соединения с фосфором, кислородом [35]. В электролите литиевых батарей присутствуют этиленкарбонат, пропиленкарбонат, диметилкарбонат и фторэтиленкарбонат [36].

Современный ЛИА, где анод изготавливается из полиацетилена, а катод – из оксида лития-кобальта, был впервые разработан японским химиком Акирой Есино в 1983 году (Электромобилей все больше, но как обстоят дела с переработкой аккумуляторов? • https://pikabu.ru/story/yelektromobiley_vse_bolshe_no_kak_obstoyat_dela_s_pererabotkoy_akkumulyatorov_7692651?ysclid=lsolhj3aq2423610392 (дата обращения: 16.02.2024)).

Литий является самым лёгким металлом, имеет самую низкую плотность среди металлов, не тонет в воде, даже не тонет в керосине. В природе в свободном состоянии литий практически не встречается, поскольку очень активен и сразу же вступает в реакцию с другими веществами, поэтому чаще встречается в составе солевых отложений, глинистых минералов. Именно по этой причине он был открыт только в 1817 году.

Крупнейшими в мире производителями лития являются Австралия (54%), Чили (26%), Китай (14%) и Аргентина (6%) [37].

Добыча лития и производство ЛИА являются трудоемкими и экологически вредными процессами. Литий добывается в промышленных масштабах из трех основных источников: соляных рассолов, богатой литием сподуменовых руд и отложений твердых пород. Большую часть лития сейчас добывают из почв-солончаков и смеси солей, полученных выпариванием подземных вод и соленых озер. Каждый метод влечет за собой определенные неизбежные нарушения состояния окружающей среды [37]. Например, извлечение из соляных рассолов является особенно водоемким методом, использующим примерно 1900 тонн воды для производства одной тонны лития (Литий: зачем нужен, как добывается и хватит ли его нам? URL: <http://habr.com/ru/company/selectel/blog/531298/> (дата обращения: 16.02.2024)).

При производстве ЛИА имеют место существенные выбросы в атмосферу, которые сопоставимы с производством традиционных автомобилей, во-вторых, не утилизируемые ЛИА, содержащие такие токсичные металлы, как кобальт, никель и марганец, загрязняют природную среду.

Современные ЛИА имеют около 1000 циклов зарядки-разрядки, после чего они должны быть утилизированы и заменены на новые. В Российской Федерации ежегодно списывается около 16-17 тысяч тонн отработанных ЛИА только в гаджетах, не учитывая аккумуляторы от электротранспорта. Ученые всего мира работают над увеличением циклов зарядки-разрядки аккумуляторов до 10000 циклов, что существенно увеличит срок их службы (Добыча лития в России: технология добычи металла у нефтяников (e-plus.media). https://e-plus.media/technologies/energichnyj-no-rasseyannyj-metall-kak-dobyvat-litij-zaodno-s-uglevodorodami/?utm_source=yandex_direct&utm_medium=cpc&utm_campaign=energiia-stati (дата обращения: 16.02.2024)).

Основным потребителем ЛИА является электрический транспорт (рисунок 2). На один электромобиль расходуется более 50 кг карбоната лития.

Доля электромобилей в мире пока еще не очень велика, составляет около 10% от общего парка автомобилей. Однако электрификация автотракторной техники по всему миру идет бурными темпами: разрабатываются электрические тракторы, тягачи (Tesla Semi, Nikola), развозные грузовики (Volkswagen e-Delivery, Mitsubishi e-Canter), компания Ford представила электрический автобус Type A. В некоторых европейских странах количество проданных электромобилей превышает продажу обычных автомобилей с ДВС (Рынок электрокаров в цифрах и в последних сделках. URL: vc.ru/transport/199864-rynok-elektrokarov-v-cifrah-i-v-poslednih-sdelkah (дата обращения: 16.02.2024)). Все это может привести к дефициту лития на Земле. Стоимость карбоната лития на мировом рынке за последние годы увеличилась в 2-3 раза и продолжает повышаться, что может привести к тому, что среднему покупателю электромобили станут недоступными.

Возникает еще один вопрос: хватит ли мировых запасов лития на перевод всего транспорта на электрическую тягу? В мире сейчас около 1,5 миллиарда единиц транспортных средств [38], а разведанных запасов лития около 80 миллионов тонн [39], тогда:

$$50 \text{ кг} \times 1500000000 \text{ ед.} / 1000 = 75000000 \text{ тонн.}$$



Рисунок 2 – Литий-ионные аккумуляторы на электромобиле
Figure 2 – Lithium-ion batteries on an electric vehicle

Расчеты показывают, что разведанных мировых запасов лития хватает лишь для перевода сегодняшнего мирового парка автомобилей на электрическую тягу. Литий является одним из основных элементов для изготовления аккумуляторов телефонов, ноутбуков и электромобилей. Его также используют для получения уникальных легких сплавов в авиационной промышленности и ракетостроении (добавка лития делает их пластичными и более легкими), для повышения прочности и стойкости стали к атмосферному воздействию, при производстве оптики с широкой спектральной полосой пропускания света, небьющегося стекла, фарфора, керамики (снижает температуру плавления), при выплавке алюминия и т.д.

Проблема дефицита лития частично может быть решена извлечением лития из отработанных аккумуляторов путем их переработки, что одновременно решит вопрос их утилизации.

В отработанных ЛИА содержание кобальта составляет около 30%, меди – 7-12%, лития – около 2-3%, а остальное – алюминий, графит, пластик, что можно переработать и повторно использовать в производстве ЛИА. Таким образом, для получения 1 тонны лития необходимо переработать 33-35 тонн отработанных ЛИА, а на первоначальное производство 1 тонны лития требуется 250 тонн сподуменового руды или 750 тонн минерального рассола. В настоящее время, несмотря на ущерб экологической среде от неправильной утилизации отработанных ЛИА и постоянный рост потребления лития, переработке подвергается лишь 10-15% отработанных литий-ионных батарей, что объясняется несовершенством и дороговизной процесса их переработки [40].

Из-за сложности отделения лития и других компонентов от упакованной батареи и друг от друга утилизируемую батарею подвергают предварительной обработке для отделения литийсодержащего активного материала (катода, анода) от периферийных частей (пластика, полимера). Затем литий химически отделяют от активных материалов. Чем больше разных химических элементов содержится в аккумуляторе, тем больше их химических свойств и возможных реакций приходится учитывать при утилизации и переработке ЛИА [41].

Предварительную обработку отработанных ЛИА осуществляют механическим способом, с помощью растворителя и с помощью кальцина [41].

Для извлечения лития из продуктов обработки применяют технологии пирометаллургии, гидрометаллургии, электрохимической экстракции [41]. Однако эти методы все еще находятся в стадии исследования. Большинство разработанных в настоящее время методов переработки загрязняют окружающую среду вредными газами, образующимися при

термической обработке литиевых отходов, кислотами, щелочами и органическими растворителями, используемыми для выщелачивания. Это также приводит к дополнительным расходам, что повышает стоимость переработки. Если стоимость лития, получаемого из руды или рассола ниже стоимости лития, получаемого от переработки отработанных батарей, то переработка не будет экономически целесообразной и жизнеспособной.

Массовый перевод автотракторной техники на электрическую тягу представляет определенную опасность для окружающей среды вследствие несовершенных технологий добычи лития, производства, переработки и утилизации ЛИА. В качестве альтернативы использования ЛИА можно рассмотреть технологии беспроводной передачи электроэнергии на расстояние ультразвуковым способом, методом электромагнитной индукции, методом электростатической индукции, с помощью микроволнового излучения, лазерным методом, используя электропроводимость земли, с помощью электрического резонатора.

Никола Тесла, известный физик сербского происхождения, который работал над технологией беспроводной передачи электроэнергии, писал, что электрическую энергию можно передавать в любую точку земного шара, не используя для этого проводов. Однако активное использование машин с двигателями, работающими на природных энергоносителях, не позволили этому предсказанию реализоваться.

Первый в мире радиоприемник А. Попова (1895 г.), беспроводное зарядное устройство для сотовых телефонов и гаджетов компании Apple, беспилотные летательные аппараты, радиоуправляемые машины и т.п. доказывают возможность беспроводной передачи энергии на расстояние.

Самый главный вопрос и одновременно проблема этой технологии заключается в ограничении расстояния и мощности передачи энергии.

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что массовый перевод автотракторной техники на электрический привод должен реализовываться планомерно и только после разработки безопасных технологий добычи лития, производства, переработки и утилизации отработанных ЛИА, потому что применяемые в настоящее время технологии экономически неэффективны и представляют определенную опасность для окружающей среды.

На наш взгляд, в качестве альтернативы использования ЛИА как источника энергии для электрической мобильной техники можно рассмотреть технологии беспроводной передачи электроэнергии на расстояние.

Conclusions. Based on the above, we can conclude that the mass transfer of automotive equipment to electric drive should be implemented systematically and only after the development of safe technologies for lithium mining, production, processing and disposal of used LIB, because the currently used technologies are not economically efficient and pose a certain danger to the environment. environment.

In our opinion, as an alternative to using LIBs as a source of energy for electric mobile equipment, technologies for wireless transmission of electricity over a distance can be considered.

Библиографический список

1. Загинайлов В. И., Андреев С. А. История развития, состояние и перспективы применения электро-мобильной техники в полеводстве. Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2017. № 6 (82). С. 16-21.
2. Успенский И. А., Фадеев И. В., Ушанев А. И. и др. Улучшение защитных свойств противокоррозионной мастики. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 2 (46). С. 96-101.
3. Бышов Н. В., Успенский И. А., Цымбал А. А. 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.
4. Герасимов Д. В. Перспективы использования электромобилей. Евразийский научный журнал. 2016. № 7. С. 213-215.
5. Голубчик Т. В., Куликов А. С. Результаты экспериментальных испытаний литий-железо-фосфатного аккумулятора производства компании «Литотех» в низкотемпературных условиях. Электроника и электрооборудование транспорта. 2021. № 1. С. 17-20.
6. Колпаков А. Ю., Галингер А. А. Экономическая эффективность распространения электромобилей и возобновляемых источников энергии в России. Вестник Российской Академии наук. 2020. С. 137-142.

7. Миронова М. П., Колянов Д. А. Перспективы развития инфраструктуры для использования электрических транспортных средств. Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2023. Т. 1. С. 147-151.
8. Мазунова А. М., Крайнов Ф. Т., Журова Л. И. Зеленое будущее автомобильной промышленности в условиях перехода к экономике чистой энергии. Вестник Международного института рынка. 2022. № 2. С. 32-38.
9. Alekseev V. V., Philippov V. P., Fadeev I. V., Chuchkalov S. I. Automation of determining the contact angle of washing liquids wetting. Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry". 2019. P. 042001.
10. Иванов А. С. Состояние и перспективы беспилотных сельскохозяйственных тракторов, работающих на возобновляемых источниках энергии. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (99). С. 153-159.
11. Марков Ю. А., Карелова Е. Э., Бижаев А. В. Перспектива использования трактора с электроприводом. Промышленность и сельское хозяйство. 2023. № 10 (63). С. 23-26.
12. Ртищева Н. Е., Пуляев Н. Н., Гузалов А. С. Электрический трактор: особенности конструкции и перспективы развития. Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 8 (28). С. 56-60.
13. Прилуков А. В. Современное состояние сельскохозяйственных мобильных энергетических средств с электроприводом. Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 4 (33). С. 144-153.
14. Бышов Н. В., Борячев С. Н., Успенский И. А., Фадеев И. В. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении. Техника и оборудование для села. 2019. № 6 (264). С. 38-42.
15. Садетдинов Ш. В., Пестряева Л. Ш., Фадеев И. В., Пестряев Д. А. Повышение коррозионной стойкости углеродистой стали с помощью дипинаконборатных соединений. Черные металлы. 2020. № 11. С. 40-45.
16. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Pestryaeva L. S., Sadetdinov Sh. V. Enhancing the antimicrobial properties of borates in coolant fluids. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. P. 012143.
17. Медведев А. Г., Михайлов А. А., Трипольская Т. А., Приходченко П. В. Композиционные материалы на основе оксида графена и диоксида олова: методы синтеза и электрохимические характеристики в составе анодов литий- и натрий-ионных аккумуляторов. Известия Академии наук. Серия химическая. 2018. № 7. С. 1131-1141.
18. Chunwei Liu, Jiao Lin, Hongbin Cao, Yi Zhang, Zhi Sun. Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review. Journal of Cleaner Production. 2019. V. 228. Pp. 801-813. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619314015>
19. Липкин М. С., Корбова Е. В., Луковкин М. В. и др. Диагностика литий-ионных аккумуляторов методами электрохимического импеданса. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2023. № 1 (217). С. 43-48.
20. Шеина Л. В., Карасева Е. В., Шакирова Н. В., Колосницын В. С. Низкотемпературные свойства электролитных систем на основе смесей сульфонов для литиевых и литий-ионных аккумуляторов. Известия Академии наук. Серия химическая. 2023. Т. 72. № 10. С. 2377-2383.
21. Юрасова О. В., Королева Е. О., Скуратова Е. А. и др. Извлечение кобальта, никеля и марганца из растворов переработки отработанных литий-ионных аккумуляторов экстракционными методами. Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37. № 17 (279). С. 54-57.
22. Успенский И. А., Фадеев И. В., Пестряева Л. Ш. и др. Присадка к средствам для мойки деталей авто-тракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 414-425.
23. Прилукова Е. Г. Российский электротрактор: от вола и лошади до электричества. Технический сервис машин. 2019. № 4 (137). С. 205-212.
24. Фасхиев Х. А. Экономическая эффективность грузового автомобиля на электрической тяге. Автомобильная промышленность. 2018. № 6. С. 3-7.
25. Бышов Н. В., Борячев С. Н., Успенский И. А., Фадеев И. В. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении. Техника и оборудование для села. 2019. № 6 (264). С. 38-42.
26. Успенский И. А., Фадеев И. В., Садетдинов Ш. В. и др. Получение ингибиторов коррозии черных металлов методом физико-химического анализа. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 2 (46). С. 90-95.
27. Фадеев И. В., Успенский И. А., Пестряева Л. Ш., Садетдинов Ш. В. Глицероборатное моющее-пассивирующее средство для ремонтного производства автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 431-441.
28. Ртищева Н. Е., Пуляев Н. Н., Гузалов А. С. Электрический трактор: особенности конструкции и перспективы развития. Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 8 (28). С. 68-73.
29. Бижаев А. В. Исследование параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 4. С. 33-42.
30. Дидманидзе О. Н., Гузалов А. С., Большаков Н. А. Современный уровень развития двигателей с газомоторной и электрической силовой установками на транспортно-тяговых средствах. Международный технико-экономический журнал. 2019. № 4. С. 52-59.
31. Аракелян А. Г. Масштабы эксплуатации современных электромобилей. Научное образование. 2020. № 3 (8). С. 299-300.
32. Осипов А. Г., Лебедева М. Е., Зенин К. П. Перспективы применения транспортных средств с водородными энергоустановками и электрической тягой. Молодежный вестник ИрГТУ. 2022. Т. 12. № 2. С. 252-259.
33. Лысоконь А. Е., Алфимов Д. Г., Дейкин Е. Д. Сравнение бензиновых автомобилей и электромобилей с позиции сохранения окружающей среды. Вестник современных исследований. 2018. № 10.1 (25). С. 321-322.

34. Шеина Л. В., Карасева Е. В., Шакирова Н. В., Колосницын В. С. Низкотемпературные свойства электролитных систем на основе смесей сульфонов для литиевых и литий-ионных аккумуляторов. Известия Академии наук. Серия химическая. 2023. Т. 72. № 10. С. 2377-2383.
35. Бабкин А. В., Кубарьков А. В., Стюф Э. А. и др. Особенности получения LiFePO_4 методом осаждения для литий-ионных аккумуляторов. Известия Академии наук. Серия химическая. 2024. Т. 73. № 1. С. 14-32.
36. Лебедев А. А., Хаванский А. О., Скоморохова О. В. Анализ особенностей литий-ионных аккумуляторов. Вестник НИЦ ВА РВСН. 2021. № 3. С. 25-27.
37. Кулова Т. Л., Скундин А. М. Проблемы развития литий-ионных аккумуляторов в мире и России. Электрохимическая энергетика. 2023. Т. 23. № 3. С. 111-120.
38. Фадеев И. В. Парк автомобилей как определяющий фактор развития системы автосервиса. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14. № 1. С. 159-167.
39. Назаров В. И., Ретивов В. М., Макаренков Д. А. и др. Влияние адсорбционных характеристик измельченных и порошкообразных механоактивированных частиц химических источников тока на эффективность получения соединений кобальта и лития методами выщелачивания и экстракции. Металлург. 2022. № 12. С. 98-104.
40. Назаров В. И., Ретивов В. М., Макаренков Д. А. и др. Разработка безопасной технологии переработки литий-ионных аккумуляторов, включающей стадии разрядки в солевых растворах и гранулирования целевых продуктов. Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 10. С. 4-11.
41. Белецкий Я. О., Сердюк А. И. Способы утилизации и переработки химических источников тока. Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. 2021. № 3. С. 106-110.

References

1. Zaginailov V. I., Andreev S. A. History of development, status and prospects for the use of electric vehicles in field farming. Bulletin of the federal state educational institution of higher professional education "Moscow State Agricultural Engineering University named after V.P. Goryachkina." 2017. No. 6 (82). Pp. 16-21.
2. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Ushanev A. I. et al. Improving the protective properties of anti-corrosion mastic. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostycheva. 2020. No. 2 (46). Pp. 96-101.
3. Byshov N. V., Uspensky I. A., Tsybmal A. A. et al. The influence of the gap size on the rate of crevice corrosion of automotive equipment. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2020. No. 2 (58). Pp. 328-337.
4. Gerasimov D. V. Prospects for the use of electric vehicles. Eurasian scientific journal. 2016. No. 7. Pp. 213-215.
5. Golubchik T. V., Kulikov A. S. Results of experimental tests of a lithium iron phosphate battery produced by Liotech under low-temperature conditions. Electronics and electrical equipment of transport. 2021. No. 1. Pp. 17-20.
6. Kolpakov A. Yu., Galinger A. A. Economic efficiency of the spread of electric vehicles and renewable energy sources in Russia. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2020. Pp. 137-142.
7. Mironova M. P., Kolyanov D. A. Prospects for the development of infrastructure for the use of electric vehicles. Modernization and scientific research in the transport complex. 2023. Vol. 1. Pp. 147-151.
8. Mazunova A. M., Krainov F. T., Zhurova L. I. A green future for the automotive industry as we transition to a clean energy economy. Bulletin of the International Market Institute. 2022. No. 2. Pp. 32-38.
9. Alekseev V. V., Philippov V. P., Fadeev I. V., Chuchkalov S. I. Automation of determining the contact angle of washing liquids wetting. Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry". 2019. P. 042001.
10. Ivanov A. S. Status and prospects of unmanned agricultural tractors powered by renewable energy sources. News of the Orenburg State Agrarian University. 2023. No. 1 (99). Pp. 153-159.
11. Markov Yu. A., Karelova E. E., Bizhaev A. V. The prospect of using an electric tractor. Industry and agriculture. 2023. No. 10 (63). Pp. 23-26.
12. Rtishcheva N. E., Pulyaev N. N., Guzalov A. S. Electric tractor: design features and development prospects. Journal of Agriculture and Environment. 2022. No. 8 (28). Pp. 56-60.
13. Prilukov A. V. Current state of agricultural mobile power tools with electric drive. Innovation in agriculture. 2019. No. 4 (33). Pp. 144-153.
14. Byshov N. V., Borychev S. N., Uspensky I. A., Fadeev I. V. Development of a new means for protecting agricultural machines during storage. Machinery and equipment for rural areas. 2019. No. 6 (264). Pp. 38-42.
15. Sadetdinov Sh. V., Pestryaeva L. Sh., Fadeev I. V., Pestryaev D. A. Increasing the corrosion resistance of carbon steel using dipinaconborate compounds. Black metals. 2020. No. 11. Pp. 40-45.
16. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Pestryaeva L. S., Sadetdinov Sh. V. Enhancing the antimicrobial properties of borates in coolant fluids. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. P. 012143.
17. Medvedev A. G., Mikhailov A. A., Tripolskaya T. A., Prihodchenko P. V. Composite materials based on graphene oxide and tin dioxide: synthesis methods and electrochemical characteristics in the anodes of lithium- and sodium-ion batteries. News of the Academy of Sciences. Chemical series. 2018. No. 7. Pp. 1131-1141.
18. Chunwei Liu, Jiao Lin, Hongbin Cao et al. Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review. Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 228. Pp. 801-813. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619314015>.
19. Lipkin M. S., Korbova E. V., Lukovkin M. V., et al. Diagnostics of lithium-ion batteries using electrochemical impedance methods. News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical science. 2023. No. 1 (217). Pp. 43-48.
20. Sheina L. V., Karaseva E. V., Shakirova N. V., Kolosnitsyn V. S. Low-temperature properties of electrolyte systems based on sulfone mixtures for lithium and lithium-ion batteries. News of the Academy of Sciences. Chemical series. 2023. Vol. 72. No. 10. Pp. 2377-2383.

21. Yurasova O. V., Koroleva E. O., Skuratova E. A., et al.. Extraction of cobalt, nickel and manganese from solutions for processing used lithium-ion batteries using extraction methods. *Advances in chemistry and chemical technology*. 2023. Vol. 37. No. 17 (279). Pp. 54-57.
22. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Pestryaeva L. Sh., etc. Additive to detergents for washing automotive parts. *News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education*. 2020. No. 4 (60). Pp. 414-425.
23. Prilukova E. G. Russian electric tractor: from ox and horse to electricity. *Technical service of machines*. 2019. No. 4 (137). Pp. 205-212.
24. Faskhiev Kh. A. Economic efficiency of an electric truck. *Automotive industry*. 2018. No. 6. Pp. 3-7.
25. Byshov N. V., Borychev S. N., Uspensky I. A., Fadeev I. V. Development of a new means for protecting agricultural machines during storage. *Machinery and equipment for rural areas*. 2019. No. 6 (264). Pp. 38-42.
26. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V., et al. Obtaining corrosion inhibitors of ferrous metals by the method of physical and chemical analysis. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after. P. A. Kostycheva*. 2020. No. 2 (46). Pp. 90-95.
27. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Pestryaeva L. Sh., Sadetdinov Sh. V. Glyceroborate detergent-passivating agent for the repair production of automotive equipment. *News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education*. 2021. No. 2 (62). Pp. 431-441.
28. Rtishcheva N. E., Pulyaev N. N., Guzalov A. S. Electric tractor: design features and development prospects. *Journal of Agriculture and Environment*. 2022. No. 8 (28). Pp. 68-73.
29. Bizhaev A. V. Study of the parameters of a tractor with an electric drive power unit. *Agricultural machines and technologies*. 2020. Vol. 14. No. 4. Pp. 33-42.
30. Didmanidze O. N., Guzalov A. S., Bolshakov N. A. The current level of development of engines with gas and electric power plants on traction vehicles. *International technical and economic journal*. 2019. No. 4. Pp. 52-59.
31. Arakelyan A. G. The scale of operation of modern electric vehicles. *Science education*. 2020. No. 3 (8). Pp. 299-300.
32. Osipov A. G., Lebedeva M. E., Zenin K. P. Prospects for the use of vehicles with hydrogen power plants and electric traction. *ISTU Youth Bulletin*. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 252-259.
33. Lysokon A. E., Alfimov D. G., Deikin E. D. Comparison of gasoline cars and electric vehicles from the perspective of environmental conservation. *Bulletin of modern research*. 2018. No 10.1 (25). Pp. 321-322.
34. Sheina L. V., Karaseva E. V., Shakirova N. V., Kolosnitsyn V. S. Low-temperature properties of electrolyte systems based on sulfone mixtures for lithium and lithium-ion batteries. *News of the Academy of Sciences. Chemical series*. 2023. Vol. 72. No. 10. Pp. 2377-2383.
35. Babkin A. V., Kubarkov A. V., Styuf E. A., et al. Features of obtaining LiFePO₄ by the deposition method for lithium-ion batteries. *News of the Academy of Sciences. Chemical series*. 2024. Vol. 73. No. 1. Pp. 14-32.
36. Lebedev A. A., Khavansky A. O., Skomorokhova O. V. Analysis of the features of lithium-ion batteries. *Bulletin of the Scientific Research Center of the Strategic Missile Forces*. 2021. No. 3. Pp. 25-27.
37. Kulova T. L., Skundin A. M. Problems of development of lithium-ion batteries in the world and in Russia. *Electrochemical energy*. 2023. Vol. 23. No. 3. Pp. 111-120.
38. Fadeev I. V. Car park as a determining factor in the development of a car service system. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after. P. A. Kostycheva*. 2022. Vol. 14. No. 1. Pp. 159-167.
39. Nazarov V. I., Retivov V. M., Makarenkov D. A., et al. The influence of the adsorption characteristics of crushed and powdered mechanically activated particles of chemical current sources on the efficiency of obtaining cobalt and lithium compounds by leaching and extraction methods. *Metallurgist*. 2022. No. 12. Pp. 98-104.
40. Nazarov V. I., Retivov V. M., Makarenkov D. A., et al. Development of a safe technology for processing lithium-ion batteries, including the stages of discharge in saline solutions and granulation of target products. *Ecology and industry of Russia*. 2023. Vol. 27. No. 10. Pp. 4-11.
41. Beletsky Ya. O., Serdyuk A. I. Methods for disposal and recycling of chemical power sources. *Bulletin of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences*. 2021. No. 3. Pp. 106-110.

Информация об авторах

Фадеев Иван Васильевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технических дисциплин ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева» (Российская Федерация, 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38), e-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Лимаренко Николай Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры приборостроения и биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», (Российская Федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Филюшин Олег Владимирович, кандидат технических наук, ассистент кафедры технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: olegfil93@mail.ru

Author's Information

Fadeev Ivan Vasilievich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technical Disciplines, Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev (Russian Federation, 428000, Cheboksary, K. Marx str., 38), e-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive Equipment and Thermal Power Engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Limarenko Nikolay Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Instrumentation and Biomedical Engineering Don State Technical University", (Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Filushin Oleg Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, assistant of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: olegfil93@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-43

APPLICATION OF THE THEORY OF HARMONIC OSCILLATIONS IN THE RESEARCH OF THE SEEDER SECTION WHEN SOWING SOYBEANS WITH HYDROGEL ON IRRIGATION

Tseplyaev A. N.

The All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture is a branch of the Federal state budgetary scientific institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov" Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: can_volgau@mail.ru

Received 15.05.2024

Submitted 06.06.2024

Abstract

Introduction. Soy is a heat- and moisture-loving crop. Most of it is cultivated by irrigation, because to obtain one ton of product, it is necessary to spend on average at least 3000 m³ of water. As for obtaining sustainable harvests in the arid zones of the lower Volga region, water costs increase by 1.2...1.3 times to obtain the same volume of production. However, this crop is highly valued on world markets for its high content of high protein, high yield, and the possibility of low-cost processing to obtain various types and food products. Soy is a very common product in animal husbandry, especially in pig farming. It is known that the best results in terms of yield and quality of soybean grain are achieved by using mineral fertilizers. At the same time, 17-18% of fertilizers are lost due to their washing into the lower layers of the soil. However, when cultivating soybeans under irrigation, it is necessary to take into account that up to 20% of the costs for obtaining stable yields fall on the supply of irrigation water. It is possible to reduce the cost of water and fertilizers in soybean cultivation by using hydrosorbents, often called hydrogels. At the same time, given that hydrogel is a rather expensive product (up to 500 rubles per kilogram), it should be applied only in the row area and below the bottom of the seed groove by 0.05 ...0.06 m. **Object.** For the processing object, the technological process of sowing soybean seeds under irrigation was selected simultaneously with the hydrogel section of the seeder equipped with additional devices to reduce the cost of irrigation water by applying enriched hydrogel. **Materials and methods.** For the research, the following were used: a section of a seeder equipped with a furrow cutter and a side sealer and riggers for removing the dry soil layer, as well as measuring instruments; recommended methods for conducting such experiments; the reliability of the experiments was determined using digital methods. **Results and conclusions.** To increase the efficiency of soybean cultivation in irrigation and reduce the cost of irrigation water, as well as fertilizers, special hydrosorbents are used-hydrogel. Due to the physical characteristics of this substance, it accumulates a certain amount of moisture in its volume, along with fertilizers dissolved in it, and then, as the volume of moisture in the soil decreases, it transfers it through the root system to the plants themselves. To embed the hydrogel into the soil, a section of the seeder has been created, with a furrow cutter and a side seal mounted on it. The section is protected by patent for invention No. 27322452. Studies related to the oscillation of the coulter were carried out using sensors that transmit signals to an analog digital converter (ADC) and then to a computer. The results were processed based on the recording of harmonic oscillations and the obtained spectral density. Based on the data obtained, graphs are plotted for changes in the resistance of the section as well as the angles of oscillation of the coulter depending on the speed of movement. In particular, the limit values of the spring tension limits should not exceed 350 n/m, at a speed of 2.5 to 3.0 m/s, while the limits of the change in the force of turning the wick, "ψ" are 40°...50° and the resistance force changes its values from 22H to 35H for each the section.

Keywords: seeder section, soybean seeds, hydrosorbent, harmonic vibrations, side sealer

Citation. Tseplyaev A. N. Application of the theory of harmonic oscillations in the research of the seeder section when sowing soybeans with hydrogel on irrigation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 376-385 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-43.

Author's contribution. All the authors of the study were directly involved in planning, conducting the experiment and analyzing the results obtained. The authors of this article have read the final version and approved it.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

УДК 631:67:633.853.52

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕКЦИИ СЕЯЛКИ ПРИ ПОСЕВЕ СОИ С ГИДРОГЕЛЕМ НА ОРОШЕНИИ

Цепляев А. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

*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*

Актуальность. Соя – тепло- и влаголюбивая культура. Большая ее часть возделывается на орошении, т.к. для получения одной тонны продукта необходимо затратить в среднем не менее 3000 м³ воды. Что касается получения устойчивых урожаев в засушливых зонах Нижнего Поволжья, то на получение того же объема продукции затраты воды возрастают в 1,2...1,3 раза. Однако эта культура высоко ценится на мировых рынках за повышенное содержание легкоусвояемого белка, высокую урожайность, возможность низкозатратной переработки для получения различных видов и продуктов питания. Соя весьма распространенный продукт в животноводстве, особенно в свиноводстве. Известно, что наилучшие результаты с точки зрения получения урожайности и качества зерна сои достигаются при использовании минеральных удобрений. При этом 17-18 % удобрений теряется за счет их промывания в нижние слои почвы. Однако при возделывании сои на орошении необходимо учитывать, что до 20% затрат для получения стабильных урожаев приходится на подачу оросительной воды. Сократить затраты воды и удобрений при возделывании сои можно за счет использования гидросорбентов, часто называемых гидрогелями. При этом, учитывая, что гидрогель достаточно дорогостоящий продукт (до 500 рублей за килограмм), вносить его следует только в зону рядка и ниже дна посевной бороздки на 0,05...0,06 м. **Объект.** Для объекта обработки был выбран технологический процесс посева семян сои на орошении одновременно с гидрогелем секцией сеялки, оборудованной дополнительными устройствами для снижения затрат оросительной воды, за счет внесения обогащенного гидрогеля. **Материалы и методы.** Для проведения исследований применились: секция сеялки, оснащенная бороздорезом и боковорезом-уплотнителем и риджерами для снятия сухого слоя почвы, а также измерительные приборы; рекомендованные методики для проведения подобных опытов; достоверность опытов определяли с использованием цифровых способов. **Результаты и выводы.** Для повышения эффективности возделывания сои на орошении и снижения затрат оросительной воды, а также при удобрении применяют специальные гидросорбенты-гидрогель. За счет физических особенностей этого вещества он накапливает в своем объеме определенное количество влаги, вместе с растворенными в ней удобрениями, а затем, по мере снижения объема влаги в почве, передает ее через корневую систему самим растениям. Для внесения гидрогеля в почву создана секция сеялки, с установленными на ней риджерами, бороздорезом и боковорезом-уплотнителем. Секция защищена патентом на изобретение № 2732452. Исследования, связанные с колебанием сошника, проводились с применением датчиков, передающих сигналы на аналоговый цифровой преобразователь (АЦП) и далее на компьютер. Обработка результатов выполнялась на основе записи гармонических колебаний и полученной спектральной плотности. По полученным данным построены графики изменения сопротивления секции, а также углов колебания сошника в зависимости от скорости движения. В частности, предельные значения натяжения пружины не должны превышать 350 н/м, при скорости от 2,5 до 3,0 м/с изменение угла поворота грядила, «ψ» составляло 40°...50°, а сила сопротивления колеблется от 22Н до 35Н на каждую секцию.

Ключевые слова: секции сеялки, семена сои, гидросорбент, гармонические колебания, боковорез-уплотнитель.

Цитирование. Цепляев А. Н. Применение теории гармонических колебаний в исследованиях секции сеялки при посеве сои с гидрогелем на орошении. *Известия НВ АУК.* 2024. 3 (75). 376-385. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-43.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Соя – одна из основных высокоурожайных бобовых культур, обеспечивающая необходимым количеством белка в первую очередь животноводство, а также необходимую часть рациона питания человека [2, 5, 8]. Отмечается, что эта культура возделывается практически в большинстве стран Латинской Америки, США, Бразилии, Российской Федерации и т.д.: только за последние 7...8 лет валовый сбор сои возрос практически до 3,0% достигнув в 2021 г 352 млн.т., в последующем к 2030 году он может возрасти до 411 млн. т [11]. Для достижения этого показателя проводится необходимая работа по селекции сортов, норма посева технологии, севообороты, расширения площадей под указанную культуру и другие мероприятия по повышению урожайности [1, 4, 6, 7].

Однако следует отметить, что соя весьма влаголюбивая культура и для получения одной тонны продукции необходимо затратить от 500 до 1000 м³ оросительной воды при поливе дождеванием [1]. Поэтому нами предлагается в целях экономии воды использовать гидросорбенты. Они способны накапливать влагу при ее избытке, а затем передавать через корневую систему растениям. При этом следует учитывать, что на основании исследований, проведенных многими авторами, по оценке применения гидрогеля в сельском хозяйстве, наилучший его эффект достигается при его внесении вместе с удобрениями [9]. Доказано, что в таких вариантах внесения экономится не только вода, но и удобрения, поскольку основная их часть находится в зоне подачи гидрогеля. В исследованиях большинства авторов гидрогель способствует улучшению качества почвы, повышая коэффициент структурности на 15...20% [3, 12, 13]. Следует также отметить, что гидрогель – достаточно дорогой продукт. Его цена колеблется от 400 до 600 руб. за 1 кг в зависимости от производителя и способности к абсорбции влаги [9]. Поэтому предлагается вносить его локально вместе с удобрениями в зону рядка посева семян сои. Машин, способных выполнять указанную операцию промышленность не выпускает [10]. В связи с этим нами разработана сеялка, защищенная патентом на изобретение № 2732452, бюл. № 267с. 16.09.2020 г.

Материалы и методы. Усовершенствованная сеялка оборудована секциями, на которых смонтированы дополнительные устройства. Для этой цели на секцию устанавливают бороздорез, смещая его вперед и в бок относительно оси сошника. Кроме этого, за сошником устанавливают бороздорез-уплотнитель. При вращении он обеспечивает прорезание влажного слоя почвы с боков образованной борозды и закрытие им семян сои. Пружина создает необходимое давление, способствуя уплотнению почвы над семенами. Сухой слой почвы сдвигается щеткой в зону рядка, мульчируя таким образом его дневную поверхность.

Поскольку в конструкцию сошника внесены изменения за счет установки подпружиненного бороздореза-уплотнителя, то, безусловно, его работа окажет воздействие на устойчивость хода всего сошника. Для проведения экспериментальных исследований по определению устойчивости сошника при работе была разработана методика и изготовлено необходимое лабораторное оборудование, а также подготовлены необходимые измерительные приборы по исследованию гармонических колебаний сошника. В основу теоретической части методики были положены дифференциальные уравнения линейного вида с неизменными коэффициентами вида. (Выгодский А. Я. «Справочник по высшей математике», М. 1989 г.)

$$(B_n q^n + B_{n-1} q^{n-1} + \dots + B_1 q + B_0) y(t) = (C_m q^m + C_{m-1} q^{m-1} + \dots + C_1 q + C_0) x(t), \quad (1)$$

где $q = \frac{L}{dt}$ – оператор дифференцирования.

Исключив некоторые промежуточные математические преобразования, направленные на упрощение уравнения, за счет группирования однородных членов и т.д. приходим к общему выражению:

$$B_n \frac{d^n}{dt^n} (\mu(i\omega) e^{i\omega t}) + B_{n-1} \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} (\mu(i\omega) e^{i\omega t}) + \dots + B_k \frac{d^k}{dt^k} (\mu(i\omega) e^{i\omega t}) + \dots + B_1 \frac{d}{dt} (\mu(i\omega) e^{i\omega t}) + B_0 (\mu(i\omega) e^{i\omega t}) = C_m \frac{d^m}{dt^m} e^{i\omega t} + C_{m-1} \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} e^{i\omega t} + \dots + C_k \frac{d^k}{dt^k} e^{i\omega t} + \dots + C_1 \frac{d}{dt} e^{i\omega t} + C_0 e^{i\omega t}, \quad (2)$$

где $\mu(i\omega)$ – комплексный множитель, а ω – частота гармонических колебаний сошника.

Далее группируем члены уравнения и вводим обозначения, считая, что $\mu(i\omega)$ – некоторый многочлен $B_n(q)$, а первую часть уравнения обозначаем как $C_m(i\omega)$, тогда

$$\mu(i\omega) = \frac{C_m(i\omega)}{B_n(q)} \quad (3)$$

Полученная формула (3) – это амплитудно-фазовая частотная характеристика линейной системы. Если принять математическое ожидания воздействия почвы на бокорез-уплотнитель как гармонические колебания нулевой частоты, т.е. $\omega=0$, то из выражения (3)

$$\mu(0) = \frac{C_m(0)}{B_n(0)} = \frac{C_0}{B_0}, \quad (4)$$

Математическое ожидание угла наклона гряды бокорез-уплотнитель к поверхности в виде функции m_y будет представлено как:

$$m_y = \frac{C_0}{B_0} m_x, \quad (5)$$

где m_x – математическое ожидание реакции почвы, полученное по результатам опыта.

Найденные выражения (4, 5) вполне применимы для нахождения некоторой автокоррекционной функции $f_x(v)$. Тогда, применив преобразование, получим спектральную плотность на входе:

$$T(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_x(v) e^{-i\omega v} dv \quad (6)$$

Стационарная случайная функция преобразовывается с учетом выражения (3) и представляется в виде:

$$T_y(\omega) = |\mu(i\omega)|^2 f_x(\omega) \quad (7)$$

Значение $|\mu(i\omega)|^2$ находят по выражению (3).

Полученное выражение $T_y(\omega)$ – величина спектральной плотности.

Продольная устойчивость ножа-уплотнителя оценивалась дисперсией изменения угла наклона гряды к поверхности почвы, а поскольку

$$C_y = v_y(0), \quad (8)$$

то функция спектральной плотности запишется в виде:

$$C_y = 2 \int_0^{\infty} T_y(\omega) d\omega \quad (9)$$

Полученное уравнение (9) вполне применимо для нахождения суммарной спектральной плотности при различных изменяющихся кинетических и динамических параметров бокореза-уплотнителя, а также стохастических величин почвы, как дискретной среды. Таким образом, оценивается комплексное влияние режимов работы бокореза-уплотнителя на устойчивость хода сошника в вертикальной плоскости.

Исследования по изучению влияния параметров почвы и бокореза-уплотнителя на устойчивость сошника выполнялись в почвенном канале ВолГАУ. Поэтому рассматриваем схему секции, а также общий вид и схему монтажа датчиков без соединения их с тележкой.

На рисунке 1 представлена схема рабочей части секции сеялки для посева семян сои на орошении.

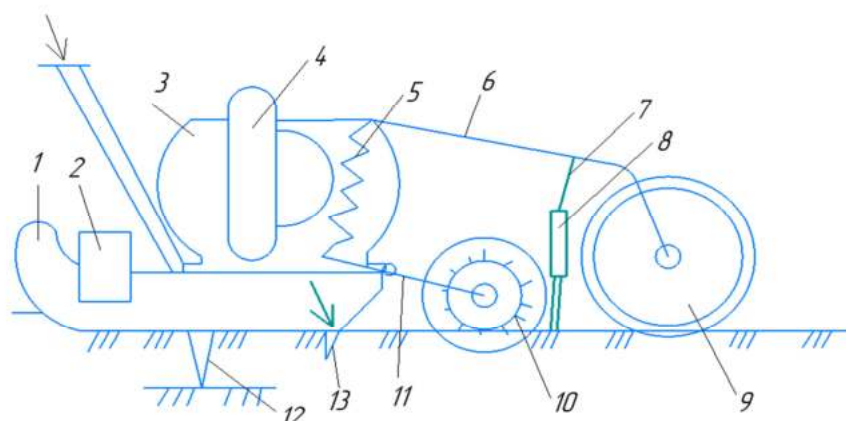


Рисунок 1 – Схема рабочей части секции сеялки для посева семян сои с гидрогелем на орошении
□ обогащенный гидрогель; □ семена; 1 – сошник; 2 – риджеры; 3 – высевной аппарат; 4 – привод;
5 – пружина; 6 – поводок; 7 – звено; 8 – щетка; 9 – опорный каток; 10 – бокорез-уплотнитель; 11 – грядиль;
12 – бороздодел; 13 – пята сошника.

Figure 1 – Diagram of the working part of the section of the planter for sowing soybean seeds with hydrogel for irrigation □ enriched hydrogel; □ seeds; 1 – coulter; 2 – rippers; 3 – seeding apparatus; 4 – drive; 5 – spring; 6 – leash; 7 – link; 8 – brush; 9 – support roller; 10 – side cutter sealer; 11 – bed; 12 – furrow; 13 – ploughshare.

При работе сошник 1 разрезает почву для образования бороздки и подачи семян сои. Риджеры 2 снимают сухой слой, сдвигая его в стороны. Бороздодел создает ниже дна посева семян бороздку под гидрогель. Семена высевным аппаратом 3 направляются в бороздку, а гидрогель – в полый бороздодел, бокорез-уплотнитель 10 срезает влажный слой с боков бороздки и закрывает семена и гидрогель, уплотняя при этом почву за счет пружины 5. На опорном катке 9 перемещается секция, а щетка 8 мульчирует влажный слой сухой почвы.

Возможные колебания сошника в продольно-вертикальной плоскости оказывают основное влияние на равномерность глубины заделки семян сои на орошении и достижения агротехнологических требований на посев. Основным фактором при работе сошника является скорость движения агрегата, поэтому все изменения функции динамики поведения сошника построены в зависимости от скорости. Схема измеряемых сил и их проекций представлена на рисунке 2, а схема монтажа датчика измерения колебаний представлена на рисунке 3.

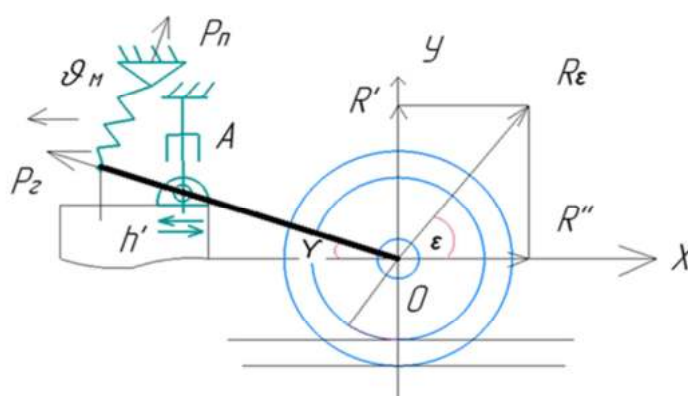


Рисунок 2 – Схема действия измеряемых сил на активный бокорез-уплотнитель
Figure 2 – Diagram of the action of the measured forces on the active side sealer

P_n – усилие пружины, н; P_T – сила тяги вдоль грядиля, н; R_E – суммарная реакция почвы на нож-уплотнитель, н; R' и R'' – вертикальная и горизонтальная проекции R_E , н; Ψ – угол наклона грядиля к горизонту, Ψ° ; h' – проекция короткого плеча грядиля.

(а)



(б)

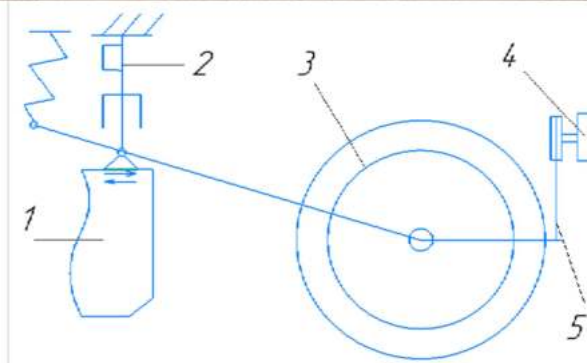


Рисунок 3 – Общий вид и схема монтажа датчиков бокореза-уплотнителя
1 – сошник; 2 – датчик тензозвена; 3 – бокорез-уплотнитель; 4 – датчик угла; 5 – упругое звено;
(а) общий вид; (б) схема монтажа датчиков

Figure 3 – General view and mounting diagram of the sensors on the side seal
1 – coulter; 2 – strain gauge; 3 – side sealer; 4 – angle sensor; 5 – elastic link; (a) general view;
(b) sensor mounting diagram

Неравномерность работы сошника вызывают автоколебания, а также работа активного бокореза-уплотнителя. Его работа рассматривалась ранее, в опыте необходимо усилие пружины, а также реакция почвы в зоне уплотнения.

Результаты и выводы. Результаты эксперимента были записаны с использованием АЦП в цифровом виде, а затем обработаны методом ординат и представлены в виде графиков на рисунок 4 (а, б, в).

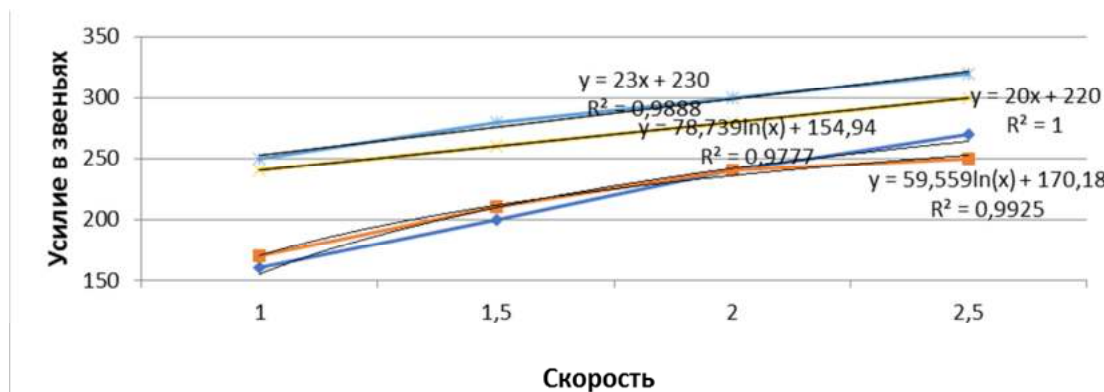


Рисунок 4а – Динамика изменения параметров в звеньях крепления бокореза-уплотнителя
(при $R_n=200$ н/м)

Figure 4a – Dynamics of parameter changes in the fastening links of the side seal (at $R_n=200$ n/m)

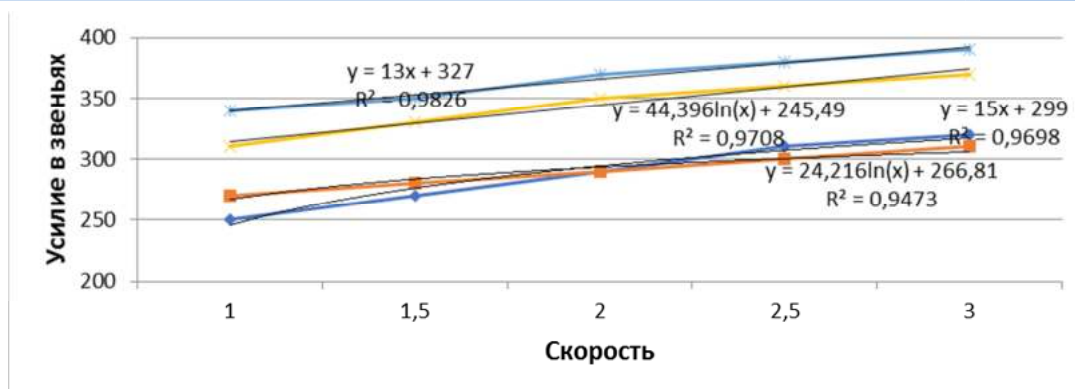


Рисунок 4б – Динамика изменения параметров в звеньях крепления бокореза-уплотнителя (при $R_n=350$ н/м)

Figure 4b – Dynamics of parameter changes in the fastening links of the side seal (at $R_n=350$ n/m)

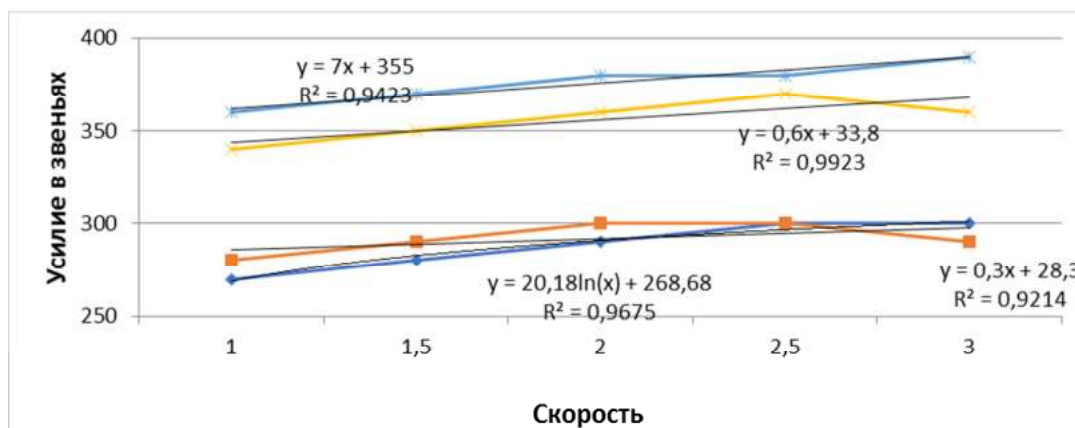


Рисунок 4в – Динамика изменения параметров в звеньях крепления бокореза-уплотнителя (при $R_n=500$ н/м)

$\Delta-\Delta$ – усилие в грядили; $\circ-\circ$ – сопротивление ножа; $x-x$ – горизонтальное сопротивление ножа;
 $\square-\square$ – изменение ψ ; $\diamond-\diamond$ – вертикальное сопротивление ножа.

Figure 4v – Dynamics of parameter changes in the fastening links of the side seal (at $R_n=500$ n/m)

$\Delta-\Delta$ – force in miles; $\circ-\circ$ – resistance of the knife; $x-x$ – horizontal resistance of the knife; $\square-\square$ – change ψ ;
 $\diamond-\diamond$ – vertical resistance of the knife.

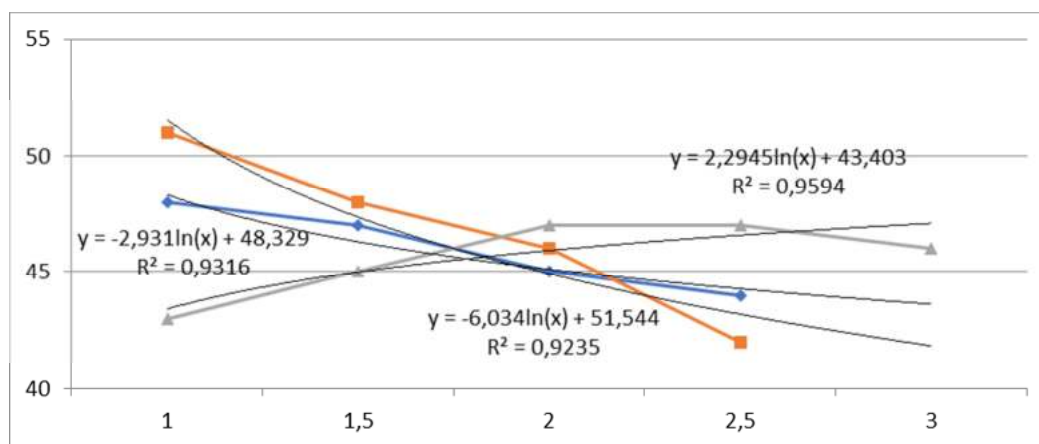


Рисунок 5 – Изменение угла поворота грядиля от скорости движения агрегата

$\diamond-\diamond$ – 200 н/м; $\square-\square$ – 350 н/м; $\Delta-\Delta$ – 500 н/м

Figure 5 – The change in the angle of rotation of the steering wheel depends on the speed of the unit

$\diamond-\diamond$ – 200 н/м; $\square-\square$ – 350 н/м; $\Delta-\Delta$ – 500 н/м

Поскольку пружина бокореза-уплотнителя будет оказывать основное влияние на устойчивость хода сошника, она предварительно настраивалась на определенное усилие натяжения (200 н/м; 350 н/м; 500 н/м). Одновременно проводилась запись с датчиков усилий в грядиле через тензозвено и бокореза-уплотнителя угла поворота грядиля относительно горизонтальной плоскости. Для определения реактивной силы бокореза-уплотнителя использовались формулы горизонтальной и вертикальной проекции реактивной силы R' и R'' которые рассчитывали по формулам: $R' = R_{\varepsilon} \sin \varepsilon$; $R'' = R_{\varepsilon} \cos \varepsilon$.

Рассмотрим закономерности изменения параметров работы бокореза-уплотнителя, а также физические явления проходящих процессов.

Что касается изменения силы в грядиле (P_r), а по существу силы тяги, то она практически соответствует закону прямо пропорциональности скорости. Пределы изменения незначительны от 250Н до 330Н, а объясняется все тем, что бокорез-уплотнитель при работе вращается на оси, при этом срез почвы с откосов бороздки всего на глубину 0,015...0,02м, а срезанная часть почвы подается к профильной поверхности уплотнителя. График изменения сопротивления бокореза-уплотнителя, по своему характеру соответствует графику силы тяги, но его значение изменения несколько меньше и составляет 230Н...320Н. Угол поворота грядиля « Ψ » увеличивается с увеличением скорости, и это связано с поведением сошника. Анализ его работы, представленный в исследованиях, отраженных в статьях, опубликованных в изданиях «Вестник» указывает на «всплытие» сошника при увеличении скорости движения машины. Соответственно, точка крепления грядиля к сошнику (т. А рисунок 2) поднимается вверх, грядиль поворачивается в шарнире «А» по часовой стрелке и угол « Ψ » увеличивается.

Проекция реактивной силы бокореза-уплотнителя в функции возрастания скорости также меняют положения, и их зависимости представляют собой R' – некоторую часть синусоиды, а R'' – косинусоиды. При увеличении скорости перед бокорезом-уплотнителем формируется почвенный валик, при этом его высота возрастает при повышении скорости. Поэтому горизонтальная составляющая реакции R'' становится больше, а вертикальная R' – убывает.

Указанная величина изменений для R' находится в пределах 20...25 Н, для R'' – (30...50) Н. Кроме этого, увеличение угла « Ψ » положения грядиля оказывает влияние на значение проекций сил R' и R'' . На рисунках 4а, б, в, представлены графики полученные в результате ранее описанной методики, но при натяжении пружины бокореза-уплотнителя до 350 Н/м. Характер их изменений соответствует вышерассмотренным рисунок 4а, при этом следует указать на повышение значений всех ранее рассмотренных величин. Так, сила P_r при скорости 1 м/с составляет 4 Н, а при скорости 3 м/с – 380 Н. Величина угла « Ψ » изменялась от 45° до 52°. Значение R' оказалось равным при $\vartheta = 1$ м/с – 27,5 Н, а при $\vartheta = 3$ м/с – 24,5 Н, R'' – 260 Н.

При увеличении натяжения пружины грядиля до $P_n = 500$ Н изменение всех рассматриваемых величин несколько иное. Что касается силы тяги P_r и реакции бокореза-уплотнителя, то их значения выросли по сравнению с кривыми графика 6б и составили: при $\vartheta = 1$ м/с - $P_r = 36,5$ Н, $R_{\varepsilon} = 335$ Н, а при $\vartheta = 3$ м/с - $P_r = 390$ Н, $R_{\varepsilon} = 360$ Н.

Значение угла Ψ практически осталось неизменным и при $\vartheta = 1$ м/с $\Psi = 48^\circ$, а при $\vartheta = 3$ м/с $\Psi = 50^\circ$. Величины проекции реактивных сил изменились несущественно на 12...15 Н, при этом, значение R' оказалось больше, чем R'' . Отсюда следует вывод, что при натяжении пружины до $P_n = 500$ н/м приводит к изменению положения сошника от действия бокореза-уплотнителя, что приводит к нарушению технологического процесса. Поэтому для указанной конструкции бокореза-уплотнителя и рабочей части секции предельное значение натяжения пружины грядиля не должно превышать 350 н/м.

Заключение. В статье рассматривается конструкция рабочей части секции сеялки для посева сои на орошении с внесением гидросорбентов, защищенная патентом на изобретение (№ 2732452). Поскольку сошник сеялки дооборудован бороздорезом для подачи гидрогеля, а к его корме крепится дополнительный грядиль с бокорезом-уплотнителем для заделки семян сои

после посева влажной почвой, то проведены экспериментальные исследования по нахождению динамических и кинематических параметров сошника и бокореза-уплотнителя. Все лабораторные исследования проводились в почвенном канале Волгоградского ГАУ с применением специального оборудования, исследуемой конструкции, а также комплекса АЦП с электронным преобразователем и ЭВМ. В теоретической части методики применялись дифференциальные уравнения линейного типа, с помощью которых получена функция спектральной плотности. Используя ее, оценивали комплексное влияние режимов работы бокореза-уплотнителя и устойчивость хода сошника. По результатам исследований получены графики в зависимости от скорости движения окружности: изменения угла поворота грядиля Ψ – его пределы от 40° до 50° , повышение силы тяги от 250Н до 350Н, а также реактивного сопротивления изменяющиеся от 220Н до 310Н, при повышении скорости, агрегата от 1,0 до 3,0 м/с. Предельное значение натяжения пружин грядиля составляет 350Н, рекомендованная скорость от 2,5 до 3,0 м/с.

Conclusions. The article considers the design of the working part of the section of a seeder for sowing soybeans under irrigation with the introduction of hydrosorbents, protected by a patent for an invention (No. ...). Since the seeder coulter is retrofitted with a furrow cutter for supplying hydrogel, and an additional bed with a side sealer is attached to its stern for sealing soybean seeds after sowing with moist soil, experimental studies have been conducted to find the dynamic and kinematic parameters of the coulter and the side sealer. All laboratory studies were carried out in the soil channel of the Volgograd State Agrarian University using special equipment, the design under study, as well as an ADC complex with an electronic converter and a computer. In the theoretical part of the technique, linear differential equations were used, with the help of which the spectral density function was obtained. Using it, the complex effect of the operating modes of the side sealer and the stability of the coulter stroke were evaluated.

According to the results of the research, graphs were obtained depending on the speed of the circle: changes in the angle of rotation of the keel Ψ – its limits from 40° до 50° , an increase in thrust from 25H to 35H, as well as reactance varying from 22H to 31H, with an increase in speed, the unit from 1.0 to 3.0 m/s. The maximum tension of the springs of the bed is 350N, the recommended speed is from 2.5 to 3.0 m/s.

Библиографический список

1. Балакай Г. Т. Особенности технологии возделывания сои на орошаемых землях юга России. http://www.infotechno.ru/ros-soya2014/dok_ba-lakay2014.php
2. Балакай Г. Т., Селицкий С. А. Урожайность сортов сои при поливе дождеванием и системами капельного орошения в условиях Ростовской области. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 3 (35). С. 80–97. <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=614&id=620>
3. Вдовина Т. А., Винокуров А. А., Исакова Е. А. Исследование водно-физических свойств почвы с применением гидрогеля в Кучерском районе Восточно-Кабардинской области. Вестник Кабардинского университета. Серия Биология. Медицина. География. 2020. № 3. С. 29-35.
4. Кочегура А. В., Щегольков А. В., Зима Д. Е. Селекция сортов сои разных направлений использования для регионов России. APK News. 2018. <https://apknnews.ru/article/213/1382/>.
5. Пешкова В. О., Лукашунас Ю. А., Власовец В. Н. Формирование урожайности сои на орошении в зависимости от климатических ресурсов вегетационного периода сухостепной зоны. Аграрный вестник Юго-Востока. 2019. № 2 (22). С. 25-27.
6. Скоробагатая Н. А. Успешное внедрение сои и зерновых в едином севообороте в Российской Федерации. http://infotechno.ru/ros-soya/dok_skorobogataya.php, 2019.
7. Толоконников В. В., Вронская Л. В., Кошкарлова Т. С. Влияние норм посева на продуктивность сои с различными сроками созревания в условиях орошения. Журнал орошаемое земледелие. 2022. № 3. С. 21-24.
8. Фокша И. Соевые возможности: популярность сои в ближайшие годы будет увеличиваться. Агротехника и технологии. 2017. <https://agroinvestor.ru/technologies/article/28927-soevye-vozmozhnosti/>.
9. Тимошенко В. В. Перспективы использования влагоудерживающих сополимеров при возделывании сельскохозяйственных культур в засушливых зонах. Материалы VIII Международной научно-практической конференции молодых исследователей, посвященной 70-летию Волгоградского государственного аграрного университета. Волгоград, 2014. Часть I. 448 с.
10. Цепляев В. А., Магомедов А. М. Условия размещения пят сошника на разработанной секции сеялки при посеве семян сои. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 430-443.
11. Юркова, Р. Е., Докучаева Л. М. Современное состояние производства сои в России. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 2 (74). С. 8-13.
12. Rathore S. S., Shekhawat K., Class A., Premi O. P., Rathore B. S., Singh V. K. Deficit Irrigation Scheduling and Superabsorbent Polymer- Hydrogel Enhance Seed Yield, Water Productivity and Economics of Indian Mustard Under Semi-Arid Ecologies. Irrigation and Drainage. 2019. № 68 (3). Pp. 531-541.
13. Kabir M. H., Ahmed K., Furukawa H. A low cost sensor based agriculture monitoring system using polymeric hydrogel. Journal of the Electrochemical Society. 2017. № 164 (5). Pp. 3107-3112.

References

1. Balakai G. T. Features of soybean cultivation technology on irrigated lands of the south of Russia. http://www.infotechno.ru/ros-soya2014/dok_ba-lakay2014.php.

2. Balakai G. T., Selitsky S. A. Yield of soybean varieties when watering with sprinkler and drip irrigation systems in the Rostov region. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Melioration. 2019. No. 3 (35). Pp. 80-97. <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=614&id=620>.
3. Vdovina T. A., Vinokurov A. A., Isakova E. A., Investigation of water-physical properties of soil using hydrogel in the Kuchersky district of the East Kabardian region. Bulletin of Kabardian University. Series. Biologists. Medicine. Geography. 2020. No 3. Pp. 29-35.
4. Kochegura A. V., Gogolkov A. V., Winter D. E. User selection for the regions of Russia. News of the agroindustrial complex. 2018. <https://apknnews.ru/article/213/1382>.
5. Peshkova V. O., Lukashunas Yu. A., Vlasovets V. N. Formation of soybean yield on irrigation depending on climatic resources of the growing season of the dry-steppe zone. Agrarian bulletin of the South-East. 2019. No. 2 (22). Pp. 25-27.
6. Skorobogataya N. A. Successful introduction of soybeans and grain into a single organism in the Russian Federation. http://infotechno.ru/ros-soya/dok_skorobogataya.php, 2019.
7. Tolokonnikov V. V., Vronskaya L. V., Koshkarova T. S. The influence of sowing norms on the productivity of soybeans with different maturation periods under irrigation conditions. Journal irrigated agriculture. 2022. No. 3. Pp. 21-24.
8. Focsha I. Soy opportunities: the popularity of soybeans in the coming years will increase. Agrotechnics and technologies. 2017. <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/28927-soevye-vozmozhnosti>.
9. Timoshenko V. V. Prospects for the use of moisture-retaining copolymers in the cultivation of crops in arid zones. Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference of Young Researchers dedicated to the 70th anniversary of the Volgograd State Agrarian University. Volgograd, 2014. Part I. 448 p.
10. Tseplyaev V. A., Magomedov A. M. Conditions for placing the ploughshare on the developed section of the planter when sowing soybean seeds. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: Science and higher professional education. 2022. No. 2 (66). Pp. 430-443.
11. Yurkova R. E., Dokuchaeva L. M. The current state of soybean production in Russia. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2019. № 2 (74). Pp. 8-13.
12. Rathore S. S., Shekhawat K., Class A., Premi O. P., Rathore B. S., Singh V. K. Deficit Irrigation Scheduling and Superabsorbent Polymer- Hydrogel Enhance Seed Yield, Water Productivity and Economics of Indian Mustard Under Semi-Arid Ecologies. Irrigation and Drainage. 2019. № 68 (3). Pp. 531-541.
13. Kabir M. H., Ahmed K., Furukawa H. A low cost sensor based agriculture monitoring system using polymeric hydrogel. Journal of the Electrochemical Society. 2017. № 164 (5). Pp. 3107-3112.

Информация об авторе

Цепляев Алексей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (ФГБНУ ВНИИОЗ) (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

Author's Information

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture" (FGBNU VNIIOZ) (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva St., 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-44

PARAMETERS OF RATIONAL INFLUENCE OF MONOCHROMATIC RADIATION ON THE SOWING QUALITIES OF CUCUMBER SEEDS

¹Yudaev I. V., ²Stepanchuk G. V., ²Yudin A. A., ²Gulyaev P. V.

¹Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation

²Azov-Black Sea Engineering Institute of the "Don State Agrarian University"
Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: etsh1965@mail.ru

Received 11.03.2024

Submitted 19.04.2024

Summary

The article presents the results of a study of the treatment of cucumber seeds of the Phoenix+ variety with monochromatic yellow-orange radiation with a wavelength of 590 nm. Analysis of the results obtained revealed the presence of a positive physiological reaction in the development of seeds, the growth of sprouts and roots of seedlings, which suggests the possibility of using this kind of stimulation of vegetable seeds before sowing. Planned studies on treating seeds with monochromatic yellow-orange radiation before sowing into the soil will reveal the effect of this treatment on their yield and crop structure.

Abstract

Introduction. The intensive development of vegetable growing is directly related to the availability of healthy seed material, which makes it possible to plan for obtaining a high-quality harvest in the quantity required by the consumer. To realize the possibility of unlocking the full biological potential of cultivated crops, a variety of stimulants are used today, among which are electrophysical methods and methods for activating the internal reserves of seeds before sowing them in the ground. Such impacts, environmentally

safe and technologically effective, include pre-sowing stimulation of seed material of vegetable crops with monochromatic radiation using LEDs. **Object.** The object of research is cucumber seeds of the “Phoenix+” variety with a long shelf life (4 years). **Materials and methods.** The studies were carried out on cucumber seeds of the Phoenix+ variety with a long shelf life, which were treated with monochromatic light in the yellow-orange spectral range with a wavelength of $\lambda = 590$ nm and a duration of 60 to 300 seconds. To conduct the experiments, a research setup was assembled, and the detection of germination energy and seed germination was assessed using standard methods described in the relevant GOST. **Results and conclusions.** Treatment of cucumber seeds of the Phoenix+ variety with monochromatic yellow-orange radiation with a wavelength of 590 nm revealed the following indicators of the development of seeds, sprouts and roots of seedlings: with an irradiation duration of 180 seconds, the highest increase in germination energy is achieved – 13% over control samples, and with using seed resting, this value is 11%; seed germination without resting was 10% at the same irradiation time of 180 seconds, and with resting – 6%, relative to the control; estimating the length of the roots, it was possible to obtain an increase of 4.3 cm over the control samples, when irradiating the seeds for 180 seconds, at the same time carrying out resting, the results with irradiation for 120 and 180 seconds repeated the results of control observations, and at longer exposures they did not achieve and them; When controlling the length of the sprouts, both options gave a positive result – its increase was observed by 2.8 cm without resting and by 3.3 cm with resting, and the best processing time was 300 and 240 seconds, respectively.

Keywords: pre-sowing seed treatment, long-term cucumber seeds, monochromatic radiation of the red spectral range, seed growth energy, germination of cucumber seeds.

Citation. Yudaev I. V., Stepanchuk G. V., Yudin A. A., Gulyaev P. V. Parameters of rational influence of monochromatic radiation on the sowing qualities of cucumber seeds. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 385-396 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-

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 631.53.027.34

ПАРАМЕТРЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОНОХРОМАТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН ОГУРЦОВ

¹Юдаев И. В., доктор технических наук, профессор

²Степанчук Г. В., кандидат технических наук, доцент

²Юдин А. А., аспирант

²Гуляев П. В., кандидат технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

²Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация

Актуальность. Интенсивное развитие овощеводства непосредственно связано с наличием здорового посевного материала, позволяющего планировать получение качественного урожая в необходимом для потребителя количестве. Для реализации возможности раскрытия полного биологического потенциала возделываемых культур сегодня используются разнообразные стимуляторы, среди которых выделяются электрофизические способы и методы активации внутренних резервов семян перед их высевом в грунт. К таким воздействиям – экологически безопасным и технологически эффективным, относится и предпосевная стимуляция семенного материала овощных культур монохроматическим излучением при помощи светодиодов. **Объект.** Объектом исследований являются семена огурца сорта «Феникс+» длительного срока хранения (4 года). **Материалы и методы.** Исследования проводились на семенах огурца сорта «Феникс+» длительного срока хранения, которые обрабатывались монохроматическим светом желто-оранжевого диапазона спектра с длиной волны $\lambda = 590$ нм и длительностью от 60 до 300 секунд. Для проведения экспериментов была собрана исследовательская установка, а выявление энергии прорастания и всхожести семян оценивались по стандартным методикам, описываемым в соответствующем ГОСТе. **Результаты и выводы.** Обработка семян огурца сорта «Феникс+» монохроматическим желто-оранжевым излучением с длиной волны 590 нм позволила выявить следующие показатели развития семян, ростков и корней проростков: при длительности облучения в 180 секунд достигается наивысший прирост энергии прорастания – 13% над контрольными образцами, а с применением отлёжки семян, это значение составляет 11%; всхожесть семян без отлёжки составила 10% при том же времени облучения в 180 секунд, а с использованием отлёжки – 6%, по отношению к контролю; оценивая длину корней удалось получить прирост

в 4,3 см над контрольными образцами, при облучении семян в течение 180 секунд, в тоже время осуществив отлёжку, результаты при облучении в течении 120 и 180 секунд повторили результаты контрольных наблюдений, а на более длительных экспозициях не достигли и их; при контроле длины ростков оба варианта дали положительный результат – наблюдалось ее увеличение на 2,8 см без отлёжки и на 3,3 см с отлёжкой, а наилучшее время обработки составило значение 300 и 240 секунд, соответственно.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, семена огурца длительного срока хранения, монохроматическое излучение красного диапазона спектра, энергия роста семян, всхожесть семян огурца.

Цитирование. Юдаев И. В., Степанчук Г. В., Юдин А. А., Гуляев П. В. Параметры рационального воздействия монохроматическим излучением на посевные качества семян огурцов. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 385-396. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-44.

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. Количество произведенного качественного растительного сырья для последующей переработки и объемы готовой выращенной овощной продукции в аграрном секторе сегодня ещё не могут удовлетворить имеющийся на них спрос на продовольственном рынке, что в итоге не позволяет полноценно наполнить корзину потребителя – среднестатистического жителя страны. По данным Росстата, в 2023 году было выращено в сооружениях защищенного грунта на 1,3% овощей больше, чем в 2022 году, а на открытом грунте урожай вырос на 18%. Объем потребления овощей и бахчевых культур среднестатистическим жителем страны в 2023 году на 20% состоит из томатов; 16% приходится на капусту; 11% – на лук; по 10% – на огурцы и морковь; 5% – на свёклу; оставшиеся 28% – на другие овощные культуры. Казалось бы, эти, достаточные для положительной динамики производства овощей, показатели могут обеспечить жителя Российской Федерации полноценными «зелеными витаминами», как этого требуют нормы питания, разработанные Министерством здравоохранения. В соответствии с ними в течение года каждый гражданин России должен быть обеспечен 140 кг овощей и бахчевых культур [1]. Но пока еще эти показатели не являются реализованными в стране как по количественным значениям потребления «зеленых витаминов», так и по равномерному распределению по сезонам года и территории проживания россиян. Все это ставит перед сельским хозяйством задачи, требующие производственных, научных и не откладываемых в долгий ящик решений. Увеличить объемы производства отечественной овощной продукции, улучшить её качество и снизить затраты на выращивание, сохранить и ускорить доставку свежей продукции потребителю – все это ключевые задачи, разрешение которых невозможно без интенсивного, научно-обоснованного сопровождения развития агропромышленного комплекса страны.

Реализовать обозначенные задачи, применяя технологические и технические мероприятия на практике, можно, располагая главным первичным инструментарием современного овощеводства – семенным и посадочным материалом высокого качества в необходимом количестве, и главное – российского происхождения. Именно отсутствие семян отечественной селекции в последние два десятилетия не позволяло труженикам сельского хозяйства сделать собираемый урожай прогнозируемым и полноценным, так как он был выращен практически на 70-80% из импортных семян. Сегодня положение дел поменялось и многие научные институты и академические университеты занимаются селекцией, но пока и этого ещё не достаточно, так как необходимо сами семена заставить максимально реализовать заложенный природой в них биологический потенциал. И вот здесь на помощь приходят химические и биологические стимуляторы, физические воздействия, провоцирующие всхожесть семян и улучшающие рост и развитие растений, защищающие посевы и посадки от вредной микрофлоры и болезней, и при этом сохраняющими, не ухудшая качество выращиваемой продукции [2, 3].

И на этом фоне сегодня выгодно выделяются экологически чистые, малозэнергоёмкие и с высокими показателями технологической эффективности электрофизические способы и методы предпосевной обработки семян, которые также хорошо себя зарекомендовали и при обработке зерна перед хранением.

Основными реализуемыми способами обработки с непосредственным применением воздействий электрической и электромагнитной природы являются: обработка семян и зерна в электрическом, магнитном и электромагнитном поле; воздействие протекающего через семенной или зерновой массив постоянного, переменного и импульсного тока; облучение зерна или семян ультрафиолетовым, инфракрасным или монохроматическим когерентным излучением, лазером и др. [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Остановимся отдельно на рассмотрении процесса воздействия монохроматического излучения на семена возделываемых культур и анализе результатов такого воздействия, влияющего на рост и развитие растений.

Свет является одним из основных параметров окружающей среды, регулирующих физиологию растений на протяжении всего жизненного цикла растений, поскольку растения используют свет как источник энергии для фиксации углерода при фотосинтезе (ассимиляционная функция), а также как сигнал для активации и регулирования многих других ключевых процессов, связанных с ростом растений и их развитием (функция контроля). Поскольку жизнь растительных организмов зависит от ассимиляционной функции света, растения развили тонкие светочувствительные механизмы, позволяющие поддерживать и максимизировать фотосинтетическую производительность и приспособленность на протяжении всей жизни.

Современное сельское хозяйство эволюционировало в сторону применения передовых технологий выращивания растений в контролируемой среде, чтобы гарантировать высокую урожайность даже при наличии неблагоприятных внешних условий или в системах выращивания с высокой плотностью посадки растений. Это можно наблюдать, например, в тепличной отрасли, в фитотронах и растильнях, где свет является ключевым параметром, а точный контроль количества света (интенсивности и продолжительности) и его качества (состав длин волн) определяют возможность повысить урожайность и снизить стоимость продукции.

В последнее время значительное внимание уделяется исследованиям применения светоизлучающих диодов в качестве источника искусственного освещения для выращивания растений в контролируемых условиях с целью повышения эффективности защищенного растениеводства. Светодиодные технологии позволяют более глубоко реализовать возможности лучистой энергии в росте растений благодаря выбору конкретных длин световых волн и спектра излучения. Светодиоды разных цветов можно комбинировать для получения индивидуального спектра света с желаемой интенсивностью.

Семена, прорастание которых стимулирует световое излучение, считаются положительно фотобластическими, а те, прорастание которых подавляется светом – отрицательно фотобластическими. В определенных областях просветления действует закон взаимности, т.е. реакция прорастания зависит от падающего светового потока. Для позитивных фотобластических семян экспериментально установлено, что свет в красной области спектра ($\lambda \approx 660$ нм) в наибольшей степени эффективно стимулирует прорастание, а вот дальний красный ($\lambda \approx 730$ нм) наоборот – тормозит его. По данным Дрейпера, фотосинтез у зеленых растений имеет максимальную интенсивность для желтого света ($\lambda = 570$ нм), а по К.А. Тимирязеву – для красного света ($\lambda = 650$ нм). Многочисленные исследования также позволили обнаружить второй максимум интенсивности фотосинтеза для синего света ($\lambda = 450$ нм). Но, в качестве промежуточного заключения, следует отметить, что, вполне возможно – полученные результаты зависят от конкретных изученных видов растений [10].

Существенным действующим фактором для протекания процесса фотосинтеза является хлорофилл, характеризующийся четырьмя типами: А, В, каротин и ксантофиллы. Исследователи экспериментально обнаружили, что влияние облучения на фотосинтез, например у злаковых культур, модулируется в зависимости от плотности энергии, демонстрируя максимум для монохроматического красного и синего цветов при плотности энергии $0,5 \text{ Дж/см}^2$ и второй максимум при $1,5 \text{ Дж/см}^2$ – для красного. Анализируя представленные результаты можно предположить, что наблюдаемое стимулирующее действие красного или синего излучения на фотосинтез связано с тем, что, по крайней мере, одна из четырех форм хлорофилла проявляет максимальное поглощение при длинах волн $\lambda = 455$ и 660 нм [10].

Экспериментально изучалось влияние красной области спектра на физиологическую активность семян овощных и злаковых культур. По результатам исследований установлено, что наибольший эффект имело облучение семян монохроматическим светом этой области спектра с длиной волны $\lambda = 630\text{--}660$ нм. Проведенные опыты по изучению влияния оптического

излучения красного диапазона ($\lambda=660$ нм) на семена ячменя (*Hordeum vulgare* L.) выявили тот факт, что такая обработка активизирует прорастание и ускоряет гидролитический распад запасных веществ вследствие стимуляции ферментативной активности. Это дало возможность аргументировано говорить о том, что монохроматическое красное оптическое излучение приводит к повышению продуктивности растений ячменя [11].

Предварительную обработку монохроматическим светом конкретного излучения – белый, красный, зеленый и синий, для улучшения характеристик прорастания семян и развития рассады, изучали на четырех сортах зеленого овощного растения – базилика священного (*Ocimum tenuiflorum* L.). Спектр зеленого света, используемый для обработки семян и последующего досвечивания рассады, показал значительное улучшение ее состояния перед пересадкой её в грунт за счет уменьшения среднего времени прорастания и увеличения длины побегов. Кроме того, результаты после пересадки в грунт подтвердили преимущество использования спектра зеленого света для производства высококачественных саженцев базилика [12].

Практический интерес представляют исследования по изучению обработки длительно хранившихся семян томата (около 12 лет) красным светом в диапазоне длин волн $\lambda = 640-730$ нм. Такие семена по наблюдению овощеводов практически не могут дать всходы, если не провести некоторую предварительную их активацию перед посевом. Анализ результатов предпосевной активации семян монохроматическим светом показал, что последние имели лабораторную всхожесть 93,5-95,7%, превышающую показатели, регламентируемые ГОСТ 32592-2013. При посеве этих семян в грунт, они дали дружные всходы уже на 2-5 сутки, а выращенная из них рассада на 45 сутки характеризовалась биометрическими параметрами, практически совпадающими с параметрами растений, выращиваемых из семян с нормальным сроком годности. Отдельно был выявлен тот факт, что воздействие на семена красным светом в течение 5 минут дало больший положительный эффект по сравнению с экспозицией в 3 минуты [13].

Отдельные исследования были посвящены изучению досвечивания монохроматическим светом овощной рассады (огурец, томат, перец) и его влияния на их морфологические и физиологические свойства при низкой естественной солнечной облученности. Увеличение длительности фотосинтетической суточной освещенности привело к увеличению диаметра стеблей саженцев. Удлинение стебля огурца усиливалось при низкоинтенсивном солнечном освещении в контроле, тогда как у рассады томатов – оно снижалось. Кроме того, замена синего или красного излучения источника на излучение белого, дальнего красного и/или зеленого спектра увеличивала высоту растений огурцов и томатов. Применение облучения высокой интенсивности с плотностью потока фотонов синего $25 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и красного – $95 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, оказалось наиболее эффективным в отношении уменьшения длины междоузлий всех овощных культур; позволило получить наиболее компактные саженцы огурцов и томатов, что является желаемым признаком для предотвращения поломки во время транспортировки и высадки в грунт; но в тоже время такие параметры, как площадь листьев и сырая масса были меньше, чем в опыте с натриевыми тепличными лампами [14].

Не часто, но исследователи изучали влияние монохроматического света на фотоморфогенез растений – от прорастания семян до развития рассады. Одно из таких исследований было посвящено влиянию различных длин волн монохроматического света на фотоморфогенез томатов. Семена проращивали в камере для выращивания при четырех обработках – 100% красный свет; 100% синий свет; 60% красный, 40% синий свет; белый свет, в течение шестнадцати дней. На ранний фотоморфогенез томата сильное влияние оказывал спектр излучения. Рост рассады под красно-синим и белым светом вызвал сопоставимые реакции, улучшая как фотосинтез, так и наращивание биомассы по сравнению с монохроматической обработкой. Чистый красный свет стимулировал удлинение гипокотыля, расширение семядолей, высоту растений и площадь листьев, но давал проростки со сниженной фотосинтетической способностью, на что указывает низкое содержание фермента *Rubisco* и незначительная фотохимическая эффективность, при фиксированном высоком тепловыделении. Монохроматический синий свет вызывал в проростках наибольшее количество фермента *Rubisco*, более компактные размеры и пониженную биомассу, в сравнении с аналогичным уровнем пигментов и фотохимической эффективности обработок

другими длинами световой волны. Недостаток синего или красного света отрицательно влиял на раннее развитие томатов, как с точки зрения морфологии, так и физиологии. Но при всем при этом синие длины волн оказались более важными, чем красные, для функциональности фотосинтетического аппарата [15].

Изучение влияния зеленого света выявило положительную реакцию на него, что сказалось на индексе площади листьев огурца, длине стебля томата, длине черешка редиса и удельной площади листьев перца по сравнению с холодным белым светом. В целом, зеленый монохроматический свет сам по себе снижал концентрацию хлорофилла в огурце, тогда как синий свет только уменьшал сухую массу, индекс площади листьев, длину стебля и черешка у томатов, огурцов, перца и редиса. Однако исследователи отметили, что реакция растений на световой спектр зависела от интенсивности света и различалась у разных видов растений [16].

Анализ данных из открытых источников специализированной и технической информации свидетельствует о положительной реакции семян и рассады овощных культур на их облучение монохроматическим светом. Поэтому, на наш взгляд, отдельного исследования заслуживает изучение именно такого влияния на семена овощных культур отечественной селекции и разного времени хранения.

Цель представленного в статье исследования состоит в том, что изучалась и анализировалась реакция семян огурца сорта «Феникс+» длительного срока хранения (4 года) на монохроматическое облучение светом желто-оранжевой части спектра длиной волны $\lambda = 590$ нм и длительностью от 60 до 300 секунд.

Материалы и методы исследований. Для экспериментальных исследований 2023 года были использованы семена урожая 2019 года. Длительное хранение, как известно, отрицательно сказывается на посевных качествах семян сельскохозяйственных культур, в том числе и овощных, поэтому особо актуальным является улучшение качества именно этого материала [17, 18].

Исследования проводились с целью определения влияния предпосевной обработки монохроматическим излучением на семена огурцов сорта «Феникс+». В экспериментах использовались многофакторные опыты, которые были полностью случайными. При проведении экспериментов учитывались все требования, описанные в публикациях, которые регламентируют методику проведения такого рода опытов. Структурная схема проведения экспериментальных исследований представлена на рисунке 1.

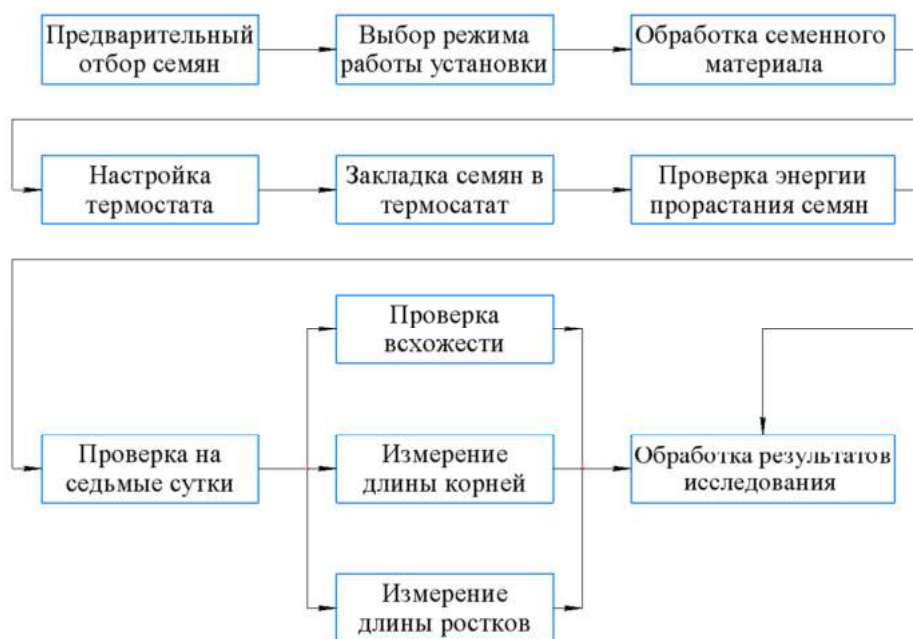


Рисунок 1 – Структурная схема проведения экспериментальных исследований
Figure 1 – Structural diagram of experimental research

Программа исследований включала следующие этапы их проведения:

1) отбор семян из партии проводился согласно действующему в стране ГОСТ 32592–2013 «Семена овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты. Сортные и посевные качества. Общие технические условия»;

2) предварительные лабораторные опыты проводились в соответствии с методикой, указанной в научных трудах Б. А. Доспехова [19];

3) с целью равномерного распределения оптического излучения на поверхности семян использовалась светоотражающая поверхность.

4) эксперимент проводился при максимально допустимых параметрах тока и напряжения светоизлучающих диодов;

5) энергию прорастания и всхожесть в лабораторных условиях определяли по действующему в стране ГОСТ 12038-84. «Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести»;

6) контроль температурного режима осуществлялся при помощи цифрового температурного датчика DS18B20.

На первом этапе эксперимента семена обрабатывались по следующей схеме:

1. Контрольный вариант без предпосевной обработки.

2. Облучение семян видимым монохроматическим излучением с длиной волны 590 нм проводилось в интервале длительности облучения от 60 до 300 секунд с шагом в 60 секунд.

На втором этапе эксперимента, определяли энергию прорастания на третьи и всхожесть семян на седьмые сутки с использованием лабораторного термостата с постоянно поддерживаемой температурой 25°C.

На третьем этапе эксперимента на седьмые сутки определяли длину ростков и корней проростков.

На первом этапе обработка семян огурца осуществлялась лучистой энергией излучения видимой части спектра с длиной волны 590 нм, соответствующей желто-оранжевому диапазону. Устройство для обработки состоит из светодиодной матрицы с расположенными на ней девятью светодиодами, блока питания и трубки со светоотражающим материалом во внутренней части, куда помещаются семена.

Для того что бы получить максимальный световой поток, светодиодную матрицу подключали к блоку питания Mastech HY1802D, с помощью которого регулировали параметры напряжения и тока, необходимые для получения максимального светового потока монохроматического излучения. Исследовательский комплекс для предпосевной обработки семян монохроматическим излучением представлен на рисунке 2.

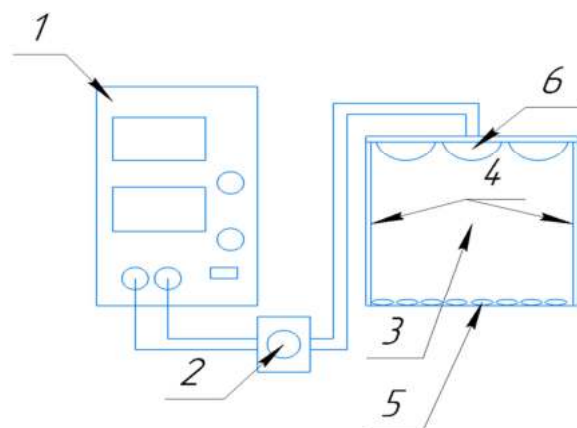


Рисунок 2 – Исследовательский комплекс для предпосевной обработки семян монохроматическим излучением

Figure 2 – Research complex for pre-sowing treatment of seeds with monochromatic radiation

Исследовательский комплекс состоит из блока питания (1) таймера для регулировки экспозиции (2), рабочей камеры (3) с внутренней отражающей поверхностью (4), в которую закладываются семена (5) и светодиодной матрицы (6).

Результаты и их обсуждение. После воздействия на семена монохроматическим излучением на третьи сутки оценивались значения энергии прорастания, представленные в виде графических зависимостей на рисунке 3.

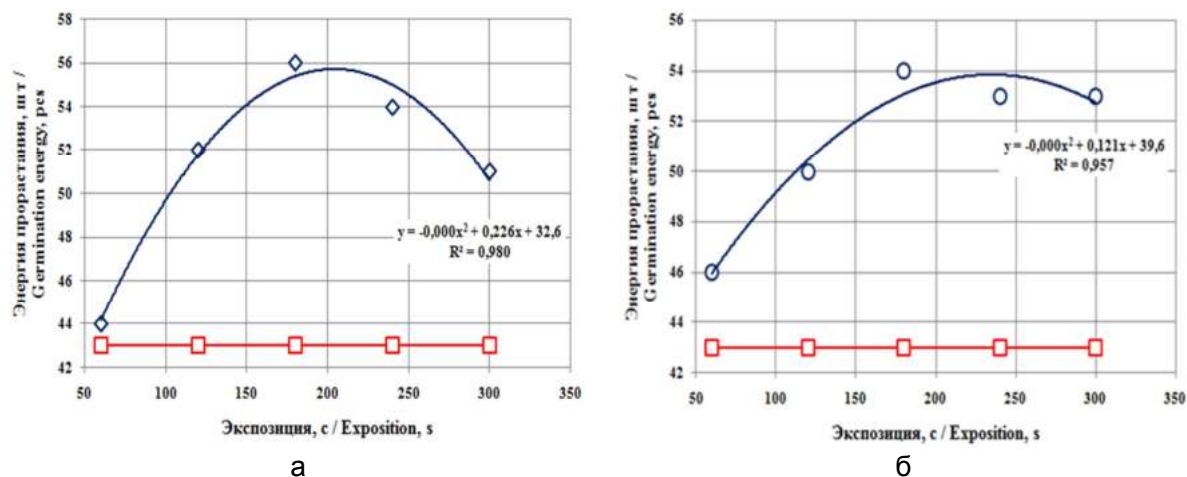


Рисунок 3 – Результаты энергии прорастания в зависимости от времени обработки и отлёжки
(а – без отлёжки, б – с отлёжкой)

Figure 3 – Results of germination energy depending on the time of processing and resting
(a – without resting, b – with resting)

Анализируя полученные результаты по влиянию монохроматического света желто-оранжевой части спектра (рисунок 3), можно сказать о том, что без использования отлёжки и при экспозиции в 180 секунд наблюдаются наилучшие показатели, которые характеризуются приростом энергии прорастания в 13% над контролем. Дальнейшее же увеличение времени обработки не повышало контролируемую энергию прорастания. При дополнительной отлёжке семян после обработки прирост энергии прорастания оказался несколько меньше, чем без отлёжки, и составил 11% при экспозиции в 180 секунд.

После воздействия на семена монохроматическим излучением на седьмые сутки оценивались значения всхожести, представленные в виде графических зависимостей на рисунке 4.

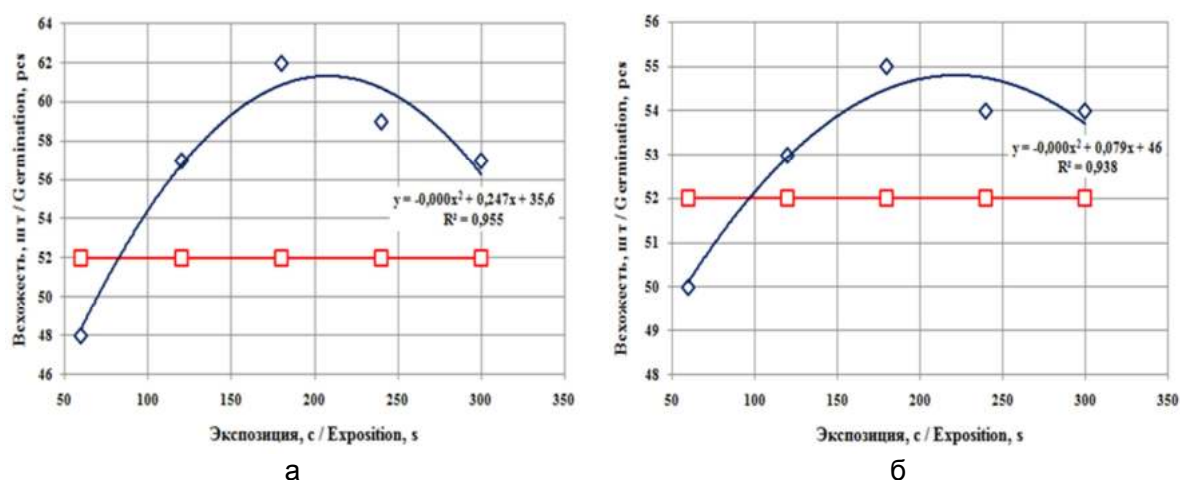


Рисунок 4 – Результаты всхожести в зависимости от времени обработки и отлёжки
(а – без отлёжки, б – с отлёжкой)

Figure 4 – germination results depending on the time of processing and resting
(a – without resting, b – with resting)

При анализе результатов всхожести семян (рисунок 4) можно сделать выводы схожие с результатами экспериментов по изучению энергии прорастания. Наилучшие результаты были зафиксированы в эксперименте с экспозицией без отлёжки равной 180 секунд. В этом случае прирост по отношению к контролю составил 10%. При отлёжке оптимальный показатель для экспозиции в 180 секунд составил максимальный прирост несколько меньше, всего 6%.

На седьмые сутки также оценивались значения измеренной длины корней проростков, представленные в виде графических зависимостей на рисунке 5.

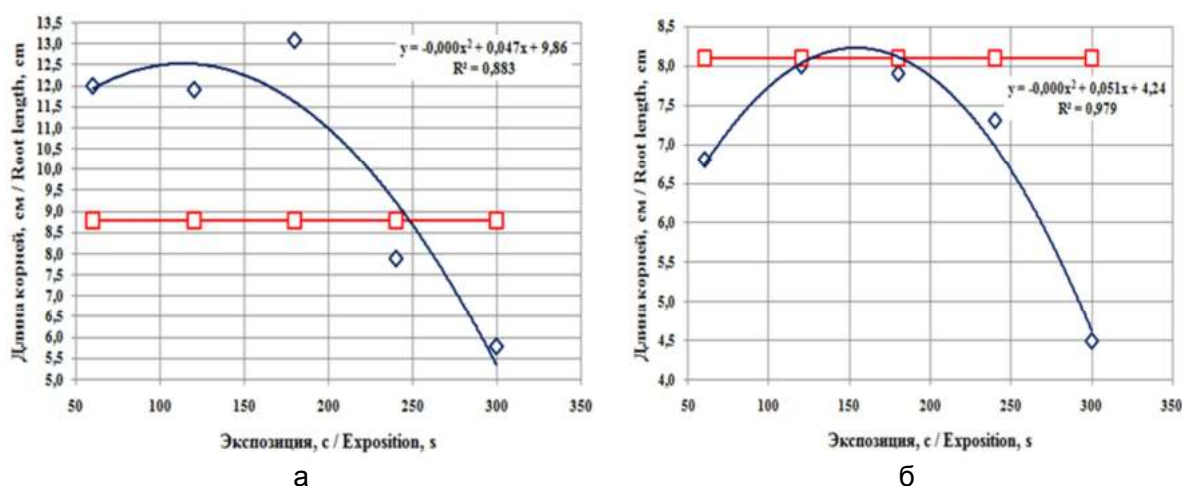


Рисунок 5 – Длина корней в зависимости от времени обработки и отлёжки
(а – без отлёжки, б – с отлёжкой)

Figure 5 – Root length depending on processing and resting time (a – without resting, b – with resting)

Через семь суток после обработки монохроматическим светом желто-оранжевой части спектра, вместе с подсчётом всхожести, были измерены длина корней проростков и высота ростков. Как видно из графиков (рисунок 5), максимальная, по отношению к контролю, длина также была достигнута при обработке 180 секунд, прирост длины корней составил 4,3 см. Дальнейшее увеличение экспозиции привело к снижению показателей и сдерживанию их развития и роста. При отлёжке достигнуть явного прироста длины корней не удалось, на экспозициях в 120 и 180 секунд длина корней практически равнялась контрольным замерам, а на других длительностях воздействия была даже меньше.

На седьмые сутки оценивались и значения измеренной длины ростков, представленные в виде графических зависимостей на рисунке 6.

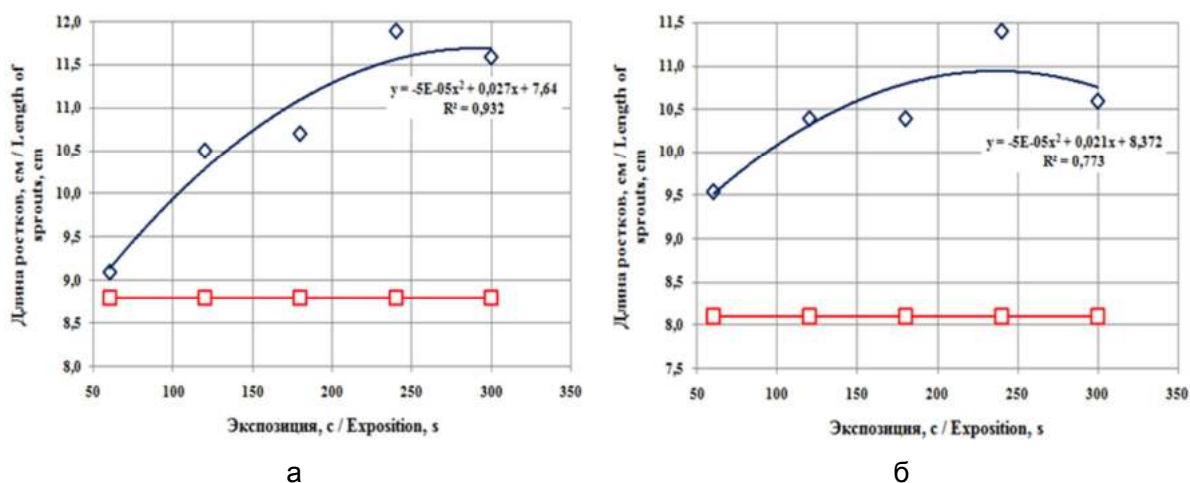


Рисунок 6 – Длина ростков в зависимости от времени обработки и отлёжки
(а – без отлёжки, б – с отлёжкой)

Figure 6 – Length of sprouts depending on processing and resting time (a – without resting, b – with resting)

При обработке как с отлёжкой, так и без неё (рисунок 6) удалось получить положительный результат, максимальный прирост без отлёжки составил 2,8 см, а с отлёжкой прирост составил 3,3 см. При этом следует обратить внимание на то, что полученные показатели соответствовали длительности облучения семян 240 и 300 секунд, что отличалось от выявленных пиковых значений экспозиции в 180 секунд на предыдущих исследованиях по выявлению показателей всхожести семян и роста.

Заключение. Обработка семян огурца сорта «Феникс+» монохроматическим желто-оранжевым излучением с длиной волны 590 нм позволила выявить следующие показатели развития ростков и корней проростков:

1) при длительности облучения в 180 секунд достигается наивысший прирост энергии прорастания – 13% над контрольными образцами, а с применением отлёжки семян, этот прирост составил – 11%;

2) всхожесть семян без отлёжки составила 10% при времени облучения в 180 секунд, а с использованием отлёжки прирост составил – 6%, по отношению к контролю;

3) оценивая длину корней удалось получить прирост +4,3 см над контрольными образцами, который был также достигнут при экспозиции в 180 секунд, при дополнительной отлёжке, результаты по длительности обработки в 120 и 180 секунд повторили результаты контрольных наблюдений, а на более длительных экспозициях не достигли и их;

4) при контроле длины ростков оба варианта дали положительный результат – +2,8 см без отлёжки и +3,3 см с отлёжкой, а наилучшая экспозиция в этом случае составила значение длительности облучения 300 и 240 секунд, соответственно.

Полученные результаты предполагается использовать для проведения последующих экспериментальных исследований по выявлению влияния монохроматического облучения семян желто-оранжевым светом на вегетационное развитие растений, высаженных, как в открытый, так и в защищенный грунт – проведя исследования от начала приживаемости рассады и до получения конечной продукции.

Conclusions. Treatment of cucumber seeds of the Phoenix+ variety with monochromatic yellow-orange radiation with a wavelength of 590 nm revealed the following indicators of the development of sprouts and roots of seedlings:

1) With an irradiation duration of 180 seconds, the highest increase in germination energy is achieved – 13% over control samples, and with the use of seed laying, this increase was 11%;

2) Germination of seeds without deposition was 10% with an irradiation time of 180 seconds, and with the use of deposition, the increase was 6% in relation to the control;

3) Estimating the length of the roots, it was possible to obtain an increase of +4.3 cm over the control samples, which was also achieved at an exposure of 180 seconds, with additional deposition, the results for the duration of treatment of 120 and 180 seconds repeated the results of control observations, and did not reach them at longer exposures;

4) When controlling the length of the sprouts, both variants gave a positive result – +2.8 cm without lying down and +3.3 cm with deposition, and the best exposure in this case was the value of the irradiation duration of 300 and 240 seconds, respectively.

The obtained results are supposed to be used for further experimental studies to identify the effect of monochromatic irradiation of seeds with yellow-orange light on the vegetation development of plants planted both in open and protected ground - by conducting research from the beginning of seedling survival to the final product.

Библиографический список

1. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: приказ Минздрава РФ от 19 августа 2016 г. № 614 (ред. от 30.12.2022). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204200/.
2. Волхонов М. С., Мамаева И. А., Беляков М. М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян. Вестник НГИЭИ. 2022. № 8 (135). С. 7-19.
3. Бахчевников О. Н., Брагинцев А. В., Нозимов К. Ш. Перспективные физические методы стимулирования прорастания семян (обзор). Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 7. С. 56-66.
4. Govindaraj M., Masilamani P., Albert A. V., et al. Effect of physical seed treatment on yield and quality of crops: A review. Agricultural Reviews. 2017. Vol. 38 (1). Pp. 1-14.
5. Ходжаев Т. А., Муллоев Н. У. Предпосевные физические методы воздействия на семена растений (обзор). Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2018. № 4. С. 54-64.
6. Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies. Ed. R. L. Singh, S. Mondal. Wood head Publishing, 2018. 424 p.
7. Таранов М. А., Гуляев П. В., Корчагин П. Т. и др. Результаты экспериментальных исследований предпосевной обработки семян подсолнечника переменным магнитным полем. АгроЭкоИнфо. 2020. № 4. С. 56-66.

8. Kasakova A. S., Mayboroda S. Y., Chronyuk V. B., et al. Prospects for the use of stimulation by electric field of old cereal seeds. *Asia Life Sciences*. 2019. Vol. 28. No 1. Pp. 229-239.
9. Юдаев И. В., Казакова А. С., Степанчук Г. В. и др. Исследование эффективности влияния однородного электрического поля на качество семян огурцов. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. № 2 (47). С. 25-30.
10. Siposan D. G. Effect of low-level monochromatic radiations on some morphological and physiological parameters of plants. *Laser Ther*. 2011. Vol. 20 (2). Pp. 123-133.
11. Панкова О., Фесенко А., Безпалько В. и др. Пролонгированные эффекты оптического излучения красного диапазона в период прорастания семян. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. No 7. Pp. 29-34
12. Thongtip A., Mosaleeyanon K., Korinsak S., et al. Promotion of seed germination and early plant growth by KNO₃ and light spectra in *Ocimum tenuiflorum* using a plant factory. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. № 6995.
13. Савина О. В., Ильичев Л. Ф. Использование красного света для активации прорастания семян томата с истекшим сроком годности. *Вестник РГАТУ*. 2021. № 4. С. 104-111.
14. Garcia C., Lopez R. G. Supplemental Radiation Quality Influences Cucumber, Tomato, and Pepper Transplant Growth and Development. *HortSciencehort*. 2020. V. 55 (6). Pp. 804-811.
15. Izzo L. G., Hay Mele B., Vitale L., et al. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. *Environmental and Experimental Botany*. 2020. V. 179. № 104195.
16. Snowden M. C., Cope K. R., Bugbee B. Sensitivity of Seven Diverse Species to Blue and Green Light: Interactions with Photon Flux. *PLoSOne*. 2016. V. 11 (10). e0163121.
17. Stepanchuk G. V., Yudaev I. V., Gulyaev P. V., et al. Experimental studies to identify the influence of low power monochromatic optical radiation on the seeding qualities of cucumber seeds variety feniks+. *Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 659 (1). 012034.
18. Казакова А. С., Куриленко Т. К. Обоснование режимов предпосевной обработки семян ячменя в электротехнологиях на основе регистрации микрофенологических фаз их прорастания. *Вестник аграрной науки Дона*. 2018. NS 4. С. 50-56.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1979. 419 с.

References

1. Recommendations for rational norms of consumption of food products, meeting the modern requirements of healthy nutrition: order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated August 19, 2016 No. 614 (red. from 30.12.2022). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204200/.
2. Volkhonov M. S., Mamaeva I. A., Belyakov M. M. Classification and Determination of the Effectiveness of Known Methods of Pre-Sowing Seed Treatment. *Vestnik NGIEI*. 2022. № 8 (135). Pp. 7-19.
3. Bakhchevnikov O. N., Braginets A. V., Nozimov K. Sh. Perspective physical methods of stimulating seed germination (review). *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2022. V. 36. № 7. Pp. 56-66.
4. Govindaraj M., Masilamani P., Albert A. V., et al. Effect of physical seed treatment on yield and quality of crops: A review. *Agricultural Reviews*. 2017. Vol. 38 (1). Pp. 1-14.
5. Khodjaev T. A., Mulloev N. U. Pre-sowing physical methods of impact on plant seeds (review). *Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series*. 2018. № 4. Pp. 54-64.
6. *Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies*. Ed. R. L. Singh, S. Mondal. Wood head Publishing, 2018. 424 p.
7. Taranov M. A., Gulyaev P. V., Korchagin P. T., et al. Results of Experimental Studies of Pre-Sowing Treatment of Sunflower Seeds by Alternating Magnetic Field. *AgroEcolInfo*. 2020. № 4. Pp. 56-66.
8. Kasakova A. S., Mayboroda S. Y., Chronyuk V. B., et al. Prospects for the use of stimulation by electric field of old cereal seeds. *Asia Life Sciences*. 2019. Vol. 28. No 1. Pp. 229-239.
9. Yudaev I. V., Kazakova A. S., Stepanchuk G. V., et al. Investigation of the effectiveness of the influence of a homogeneous electric field on the quality of cucumber seeds. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2022. V. 69. № 2 (47). Pp. 25-30.
10. Siposan D. G. Effect of low-level monochromatic radiations on some morphological and physiological parameters of plants. *Laser Ther*. 2011. Vol. 20 (2). Pp. 123-133.
11. Pankova O., Fesenko A., Bezpalko V., et al. Prolonged effects of optical radiation of the red range during seed germination. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. No 7. Pp. 29-34
12. Thongtip A., Mosaleeyanon K., Korinsak S., et al. Promotion of seed germination and early plant growth by KNO₃ and light spectra in *Ocimum tenuiflorum* using a plant factory. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. № 6995.
13. Savina O. V., Ilyichev L. F. Using Red Light to Activate Germination of Expired Tomato Seeds. *Vestnik RSATU*. 2021. № 4. Pp. 104-111.
14. Garcia C., Lopez R. G. Supplemental Radiation Quality Influences Cucumber, Tomato, and Pepper Transplant Growth and Development. *HortSciencehort*. 2020. V. 55 (6). Pp. 804-811.
15. Izzo L. G., Hay Mele B., Vitale L., et al. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. *Environmental and Experimental Botany*. 2020. V. 179. № 104195.
16. Snowden M. C., Cope K. R., Bugbee B. Sensitivity of Seven Diverse Species to Blue and Green Light: Interactions with Photon Flux. *PLoSOne*. 2016. V. 11 (10). e0163121.
17. Stepanchuk G. V., Yudaev I. V., Gulyaev P. V., et al. Experimental studies to identify the influence of low power monochromatic optical radiation on the seeding qualities of cucumber seeds variety feniks+. *Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 659 (1). 012034.
18. Kazakova A. S., Kurylenko T. K. Substantiation of pre-sowing treatment regimes of barley seeds in electro-technologies based on registration of microphenological phases of their germination. *Bulletin of the Agrarian Science of the Don*. 2018. NS 4. Pp. 50-56.
19. Dospekhov B. A. Methods of field experience. Moscow: Kolos, 1979. 419 p.

Информация об авторах

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350004, г Краснодар, ул. Калинина, д. 13), e-mail: etsh1965@mail.ru

Степанчук Геннадий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, д. 21), e-mail: g-stepanchuk@mail.ru

Юдин Андрей Александрович, аспирант, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, д. 21), e-mail: andrey-yudin-1997@mail.ru

Гуляев Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин», Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, д. 21), e-mail: achgaa.el.mash@inbox.ru

Author's Information

Yudaev Igor Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350004, Krasnodar, Kalinin str., 13), e-mail: etsh1965@mail.ru

Stepanchuk Gennadiy Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute of the DonSAU (Russian Federation, Rostov region, Zernograd, Lenin St., 21), e-mail: g-stepanchuk@mail.ru

Yudin Andrey Aleksandrovich, postgraduate student, Azov-Black Sea Engineering Institute of the DonSAU (Russian Federation, Rostov region, Zernograd, Lenin St., 21), e-mail: andrey-yudin-1997@mail.ru

Gulyaev Pavel Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute of the DonSAU (Russian Federation, Rostov region, Zernograd, Lenin St., 21), e-mail: achgaa.el.mash@inbox.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-45

ANALYTICAL REVIEW OF TYPES OF ENERGY LOSSES AT PHOTOVOLTAIC
POWER PLANTS¹Daus Yu. V., ^{2,3}Panchenko V. A., ¹Slyusar M. O.¹Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation²Russian University of Transport³Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: zirochka3011@gmail.com

Received 14.03.2024

Submitted 19.04.2024

Summary

The paper uses theoretical research methods: literature overview, operating experience of photovoltaic power plants, systematization of the background. For the Krasnodar Territory, energy losses at a power plant can be 10-75 kW·h/m²·year for each type of loss. The analysis of the efficiency of existing private photovoltaic power plants in the Krasnodar Territory showed that due to non-optimal spatial orientation and mutual shading of photovoltaic chains, the efficiency can be reduced to 5-11%.

Abstract

Introduction. When supplying energy to agricultural facilities, for any energy source it is important to ensure high efficiency of electrical energy generation by photovoltaic power plants and take into account all the factors that influence it. **The purpose of the study** is to analyze, systematize and evaluate the factors influencing the utilization level of the solar energy potential when converting solar energy into electrical energy at a photovoltaic power plant. **Object of study.** Operating private photovoltaic power plants in the Krasnodar Territory. **Materials and methods.** The paper uses theoretical research methods: literature overview, operating experience of photovoltaic power plants, systematization of the background. **Results and conclusions.** A photovoltaic power plant has efficiency factor of 15-18%, and additional power losses caused by both suboptimal engineering solutions and inefficient operation of the power plant lead to a significant decrease in this indicator. Energy losses in a photovoltaic plant are divided into solar and electrical energy losses. Solar energy losses include losses from shading, losses from suboptimal spatial orientation of the module, losses from degradation, heating, low efficiency of photovoltaic modules and inconsistent operation of photovoltaic groups. Losses from shading, in turn, are divided into losses from near and far shading, mutual shading of photovoltaic chains, and from pollution. Electrical losses in photovoltaic plants include losses in cables, inverters, transformers and transmission lines. These losses can also be divided conditionally into losses in the direct current circuit, alternating current circuit and losses when converting direct current to alternating current. Losses in conductors and transformers are divided into structural and variable, depending on the load. Electrical losses can be reduced during the design phase of a photovoltaic plant by selecting devices with high performance and by selecting the power of the devices to ensure their optimal loading. For the Krasnodar Territory, energy losses at a photovoltaic power plant can be 10-75 kW·h/m²·year for each type of loss. The analysis of the efficiency of existing private photovoltaic power plants in the Krasnodar Territory showed that due to non-optimal spatial orientation and mutual shading of photovoltaic chains, the installed capacity utilization factor can be reduced to 5-11%.

Keywords: intensity of solar radiation, photovoltaic plants, solar energy, energy losses.

Citation. Daus Yu. V., Panchenko V. A., Slyusar M. O. Analytical review of types of energy losses at photovoltaic power plants. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 396-403 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-45.

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 620.92

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТИПОВ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

¹Даус Ю. В., кандидат технических наук

^{2,3}Панченко В. А., кандидат технических наук

¹Слюсарь М. О., студент

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»

г. Краснодар, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (МИИТ)

³ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

г. Москва, Российская Федерация

Введение. Актуальным при энергообеспечении сельскохозяйственных объектов для любого источника энергии является обеспечение высокой эффективности генерации электрической энергии фотоэлектрическими станциями и учет всех факторов, которые на нее влияют. **Цель исследования** – проанализировать, систематизировать и оценить факторы, влияющие на уровень реализации потенциала солнечной энергии, при преобразовании солнечной энергии в электрическую на фотоэлектрической станции. **Объект исследования.** Действующие частные фотоэлектрические станции Краснодарского края. **Материалы и методы.** В статье использованы методы теоретического исследования: анализ литературы, опыта эксплуатации фотоэлектрических станций, систематизация представленной информации. **Результаты и выводы.** Фотоэлектрическая станция обладает достаточно низким коэффициентом полезного действия – 15-18% и дополнительные потери мощности, обусловленные как неоптимальными инженерными решениями, так и неэффективной эксплуатацией станции приводят к существенному снижению этого показателя. Потери энергии на фотоэлектрической станции делятся на потери солнечной и электрической энергии. Потери солнечной энергии включают в себя потери от затенения, потери от неоптимальной пространственной ориентации модуля, потери от деградации, нагрева, низкой эффективности фотоэлектрических модулей и несогласованной работы фотоэлектрических групп. Потери от затенения в свою очередь делятся на потери от ближнего и дальнего затенения, взаимного затенения фотоэлектрических цепочек, от загрязнения. Электрические потери на фотоэлектрических станциях включают в себя потери в кабелях, инверторах, трансформаторах и линиях передачи. Эти потери также можно разделить условно на потери в цепи постоянного тока, цепи переменного тока и потери при преобразовании постоянного тока в переменный. Потери в проводниках и трансформаторах делятся на конструктивные и переменные в зависимости от нагрузки. Электрические потери можно уменьшить на этапе проектирования фотоэлектрической станции путем выбора устройств с высокими характеристиками и путем выбора мощности устройств, обеспечивающей их оптимальную загрузку. Для территории Краснодарского края потери энергии на фотоэлектрической станции могут составлять 10-75 кВт·ч/м²·год для каждого вида потерь. Анализ эффективности действующих частных фотоэлектрических электростанций на территории Краснодарского края показал, что вследствие неоптимальной пространственной ориентации и взаимного затенения фотоэлектрических цепочек коэффициент использования установленной мощности может снижаться до 5-11%.

Ключевые слова: интенсивность солнечной радиации, фотоэлектрические станции, солнечная энергия, потери энергии.

Цитирование. Даус Ю. В., Панченко В. А., Слюсарь М. О. Аналитический обзор типов потерь энергии на фотоэлектрических станциях. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 396-403. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-45.

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. Сельскохозяйственное производство характеризуется высокой долей затрат в себестоимости производства продукции на энергию: 30-35%. А повышение электрооруженности является необходимым условием для увеличения механизации и авто-

матизации технологических процессов, производительности труда и эффективности функционирования сельскохозяйственных предприятий. Основными проблемами сельских территорий являются большие расстояния и малая плотность нагрузки электросетевого комплекса, высокая стоимость капитального строительства энергетических объектов, низкий коэффициент использования установленной мощности энергосистемы в целом. Поэтому параллельно с централизованным энергоснабжением происходит развитие локальной распределенной генерации. Территория юга России – это территория, отличающаяся развитым сельскохозяйственным производством и высоким уровнем потока солнечного излучения в течение года. Поэтому применение локальной генерации посредством фотоэлектрических установок наиболее актуально здесь для сельскохозяйственных потребителей, характеризующихся сезонностью работ, совпадающей близко с характером прихода солнечной радиации в течение года: пик нагрузки приходится на лето и осенне-весенний период, например, для зернотока, перерабатывающих предприятий, систем орошения, хранения продукции т.д. Актуальным является, как и для любого источника энергии, обеспечение высокой эффективности генерации электрической энергии фотоэлектрическими станциями и учет всех факторов, которые на нее влияют.

Цель исследования – проанализировать, систематизировать и оценить факторы, влияющие на уровень реализации потенциала солнечной энергии, при преобразовании солнечной энергии в электрическую на фотоэлектрической станции.

Материалы и методы исследования. В статье использованы методы теоретического исследования: анализ литературы, опыта эксплуатации фотоэлектрических станций, систематизация представленной информации.

Удельные потери энергии с 1 м^2 фотоэлектрического модуля рассчитаны для географической точки с координатами $45,03^\circ \text{с.ш. } 38,98^\circ \text{в.д.}$ (г. Краснодар). Интенсивность солнечной радиации определена с помощью программного комплекса «Оценка ресурса солнечной энергии в заданной точке на поверхности земли».

Моделирование проводилось с использованием монокристаллического модуля ФСМ-200 фирмы ООО «Квант» со следующими параметрами: номинальная мощность 200 Вт, КПД 14,9%, габаритные размеры $1580 \times 808 \times 35 \text{ мм}$, номинальное напряжение 24 В.

Данные о составе и режиме генерации действующих фотоэлектрических станций взяты на портале [1].

Результаты исследования и их обсуждение. Потери энергии на фотоэлектрической станции делятся на потери солнечной и электрической энергии (рисунок 1) [2]. Потери солнечной энергии на фотоэлектрической станции включают в себя потери от затенения, потери от неоптимальной пространственной ориентации модуля, потери от деградации, нагрева, низкой эффективности фотоэлектрических модулей и несогласованной работы фотоэлектрических групп.

Потери от затенения в свою очередь делятся на:

- потери от ближнего затенения: затенение тенью, отбрасываемыми рядом расположенными объектами (зданиями, деревьями, инженерными коммуникациями); взаимное затенение фотоэлектрических цепочек [3, 4];

- потери от дальнего затенения: потери энергии от затенения горными хребтами, высокими зданиями в момент времени, когда Солнце находится низко над горизонтом (рассвет или закат) [5];

- потери от загрязнения: потери энергии при налипании снега, пыли, листьев, помета на поверхность модулей [6].

Уменьшение потерь от ближнего затенения требует оптимизации взаимного размещения фотоэлектрических модулей; анализа режима инсоляции территории, выделенной по установке модулей, так как в этом случае на поверхность модулей приходят только рассеянная и отраженная составляющие солнечной радиации, что приводит к существенному снижению преобразуемого потока излучения [7].

Как известно, наибольшее количество солнечной энергии приходит на поверхность фотоэлектрического модуля, когда она размещена перпендикулярно солнечному лучу. Кроме того, когда поток света приходит на приемную поверхность под углом 90° , количество отраженного света значительно меньше, чем при других углах падения. Отражатель-

ная способность составляет менее 5% [8]. Однако, чтобы обеспечить такое пространственное положение модулей, необходимо применять системы слежения за Солнцем либо проводить оптимизацию их угла наклона за выбранный период времени (месяц, сезон, год). Чаще всего используется критерий обеспечения максимума приходящего солнечного излучения за рассматриваемый период времени [9].

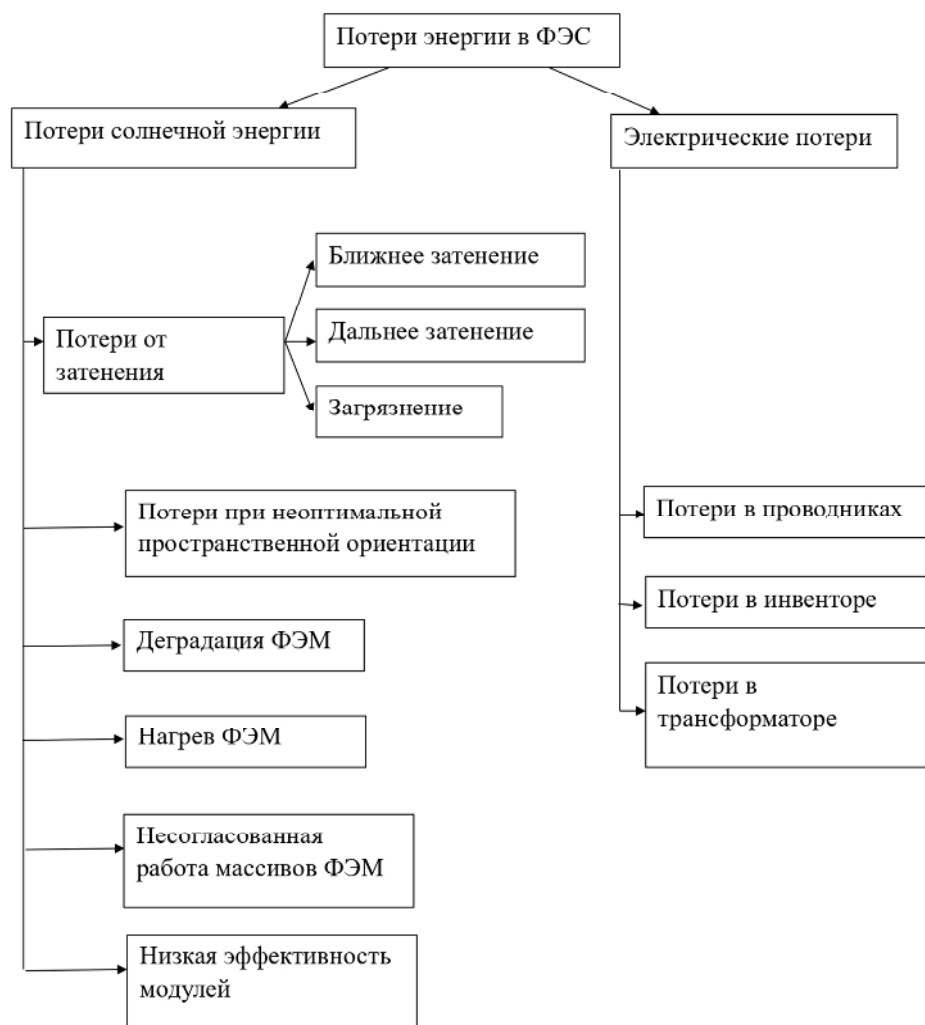


Рисунок 1 – Структура потерь энергии на фотоэлектрической станции
Figure 1 – Structure of energy losses at a photovoltaic plant

Деградация фотоэлектрических модулей – это постоянное медленное снижение их производительности с течением времени, приводящее к выработке меньшего объема электрической энергии при том же потоке солнечного излучения. Деградации подвержены все типы солнечных элементов, но это может происходить с разной скоростью. Деградация фотоэлектрического модуля вызвана высокими перепадами напряжения в его конструкции. Известные производители солнечных батарей применяют инновации для того, чтобы максимально продлить срок службы оборудования, сделать батареи более надежными и прочными, способными выдерживать самые экстремальные условия.

При функционировании фотоэлектрического модуля температура солнечного элемента повышается. Температура, при которой эксплуатируется фотоэлектрический модуль, – один из основных факторов, определяющих его КПД. Ограничение коэффициента полезного действия модуля связано с тем, что только часть приходящей солнечной энергии преобразуется в электричество; часть энергии при этом преобразуется в тепловую [10, 11].

Повышенная температура вызывает сокращение ширины запрещенной зоны полупроводника, и ток насыщения увеличивается из-за меньшей энергии, необходимой для образования электронно-дырочных пар. При этом ток короткого замыкания незначительно увеличивается, в то время как напряжение холостого хода уменьшается и приводит к заметному снижению доступного максимума мощности [12]. Рабочая температура фотоэлектрического модуля – это баланс между теплом, которое вырабатывается в модуле, и теплом, выделяемым в окружающую среду. Проблема нагрева фотоэлектрических модулей в процессе их эксплуатации решается путем нанесения тонировки, тепловых рассеивателей, совместной генерации электрической и тепловой энергии (термофотоэлектрические модули) [13].

Потери при рассогласовании массива могут возникнуть, если фотоэлектрические модули различной мощности и напряжения или разных производителей подключаются на совместную работу [14]. Чтобы исключить снижение производительности станции в целом, необходимо для достижения требуемой электрической мощности применять последовательную, параллельную и смешанную коммутации [15].

Качество сборки фотоэлектрических модулей в наибольшей мере влияет на производительность, надежность и безопасность фотоэлектрической электростанции. Дефекты модулей могут быть следующие: коррозия, горячие точки, нарушенные соединения, трещины и прожоги, потеря антибликового покрытия. Подложка имеет внешний (со стороны воздуха) и внутренний слои (со стороны ячеек), которые подвержены растрескиванию, расслаиванию и пожелтению. Дефекты, полученные при эксплуатации, могут существенно снизить общий срок службы модулей и эффективность станции в целом. Потери от дефекта модуля могут возникать вследствие термализации (передача энергии решетке) горячих носителей заряда (29,2%), прохождения через элемент фотонов низких энергий (18,8%); неполного собирания фотогенерированных носителей заряда (40,5%); рекомбинационных потерь носителей заряда в переходе, определяемым диодными параметрами (19,2%); потерями мощности в диоде при прямом напряжении смещения (4,7%); потерями на отражение (2%); потерями на затенение поверхности контактной сеткой (4%); нефотоактивного поглощения (1%).

Электрические потери на фотоэлектрических станциях включают в себя потери в кабелях, инверторах, трансформаторах и линиях передачи. Эти потери также можно разделить условно на потери в цепи постоянного тока, переменного тока и потери при преобразовании постоянного тока в переменный.

Потери в проводниках являются конструктивными и переменными, последние зависят от нагрузки. Правильное проектирование и определение сечения и количество проводников, регулярное техническое обслуживание электрооборудования являются основными способами борьбы с потерями в кабелях постоянного и переменного тока. Потери в трансформаторе также делятся на постоянные (потери на гистерезис и вихревые токи) и переменные (зависящие от нагрузки) потери. Их уменьшить можно на этапе проектирования фотоэлектрической станции путем выбора устройства с высокими характеристиками и путем выбора мощности трансформатора, обеспечивающей его оптимальную загрузку [16].

Основными функциями инверторов на фотоэлектрической станции являются преобразование постоянного тока в переменный, МРРТ, управление током в сети, активная защита от перегрузки. Эффективность инвертора в среднем составляет 96–98%. Однако при несогласованной совместной работе инвертора и фотоэлектрической группы может быть потеряна вся или значительная часть вырабатываемой энергии. Кроме того, охлаждение инверторов фотоэлектрических солнечных систем является важным критерием для обеспечения надежной работы. Если температура соединений коммутационного устройства превысит допустимые значения, устройство выйдет из строя [17].

Для рассматриваемой точки с географическими координатами 45,03° с.ш. 38,98° в.д. значение валового потенциала равно 1247 кВт·ч/м²·год, значение ресурса солнечной энергии, который можно максимально преобразовать при оптимальной пространственной ориентации приемной площадки, составляет 1432 кВт·ч/м²·год.

Из опыта эксплуатации фотоэлектрических станций выявлены относительные значения потерь энергии, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Относительная величина потерь энергии на фотоэлектрической станции
Table 1 – Relative magnitude of energy losses in a photovoltaic plant

Тип потерь энергии / Type of energy loss		Значение, % / Value, %
Потери солнечной энергии / Solar energy losses		
Потери от затенения / Shading Loss	Ближнее затенение / Near Occlusion	0-30%
	Дальнее затенение / Far-shading	0-20%
	Загрязнение / Pollution	0,5-5%
Потери при неоптимальной пространственной ориентации / Loss in Non-Optimal Spatial Orientation		0-15%
Деградация ФЭМ / PV degradation		1-5%
Нагрев ФЭМ / PV heating		0-10%
Несо согласованная работа массивов ФЭМ / Inconsistent operation of PV arrays		0,1-1%
Низкая эффективность модулей / Low module efficiency		0-20%
Электрические потери / Electrical Losses		
Потери в проводниках / Conductor Losses		0-5%
Потери в инверторе / Inverter losses		0-%
Потери в трансформаторе / Transformer Losses		2-5%

На рисунке 2 приведена диаграмма значения потерь энергии на фотоэлектрической станции для рассматриваемой территории.

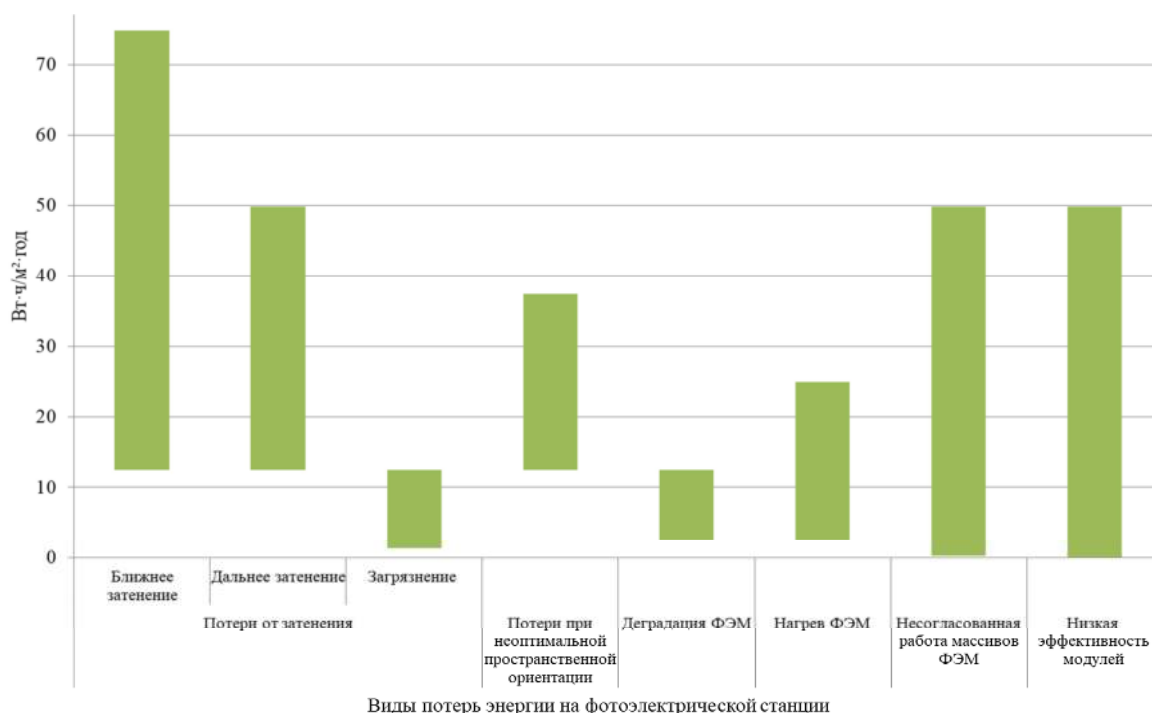


Рисунок 2 – Диаграмма потерь энергии на фотоэлектрической станции для географической точки с координатами 45,03° с.ш. 38,98° в.д.

Figure 2 – Diagram of energy losses at a photovoltaic plant for a geographical point at 45.03° N, 38.98° E

На примере действующих частных фотоэлектрических станций территории города Краснодара, для координат которого проводится исследование, также проанализирована величина потерь энергии. На первой станции PV_home установлено 20 фотоэлектрических модулей типа Helios Technology H3A225P под углом наклона 15° и азимутом 180° (север), – 90° (восток). Если эти же модули разместить с оптимальной пространственной ориентацией (39° юг, определен программным комплексом «Поиск оптимального угла наклона приёмной площадки относительно горизонта в заданной точке Южного федерального округа»), то за год выработка электрической энергии составит 10 970 кВт·ч/год или 369 кВт·ч/м²·год. Сей-

час же выработка за год составляет 6 075 кВт·ч/год или 267 кВт·ч/м²·год, что на 45% ниже максимального значения. Таким образом, потери энергии на станции составляют 45%, или 102 кВт·ч/м²·год. Коэффициент полезного действия станции равен 10-11%.

Вторая станция SYSTEM_one оборудована 80 модулями типа Eclipse Italia srl SOL 190H в 4 ряда. Максимальное количество электрической энергии, которое может быть сгенерированной такой фотоэлектрической группой, равно 49 800 кВт·ч/год или 488 кВт·ч/м²·год. Однако, средствами учета зафиксирована годовая выработка, равная 20585 кВт·ч/год или 321 кВт·ч/м²·год. То есть потери энергии составляют 58% или 167 кВт·ч/м²·год. Потери связаны прежде всего с взаимным затенением трех крайних рядов вследствие малого межрядного расстояния между ними, что приводит к существенному затенению в утреннее и вечернее время суток. Коэффициент полезного действия станции составляет 4-5%.

Выводы. Фотоэлектрическая станция характеризуется коэффициентом полезного действия равным 15-18%, а дополнительные потери мощности обусловлены неоптимальными инженерными решениями на этапах её проектирования и строительства. Потери энергии чаще всего связаны с потерями солнечной энергии вследствие затенения, загрязнения, неоптимальной пространственной ориентации, дефектов, деградации, нагрева модулей и их несогласованной работы и потерями электрической энергии в элементах станции (инверторах, проводниках, трансформаторах). Для территории Краснодарского края потери энергии на фотоэлектрической станции могут составлять 10-75 кВт·ч/м²·год для каждого вида потерь. Анализ эффективности действующих частных фотоэлектрических электростанций на территории Краснодарского края показал, что вследствие неоптимальной пространственной ориентации и взаимного затенения фотоэлектрических цепочек коэффициент полезного действия станции снизился до 5-11%.

Conclusions. The photovoltaic power plant has a fairly low efficiency of the generation – 15-18%, and additional power losses are caused by non-optimal engineering solutions at the stages of its design and construction. Energy losses are most often associated with losses of solar energy due to shading, pollution, non-optimal spatial orientation, defects, degradation, heating of modules and their inconsistent operation and losses of electrical energy in plant elements (inverters, conductors, transformers). For the Krasnodar Territory, energy losses at a photovoltaic power plant can be 10-75 kW·h/m²·year for each type of loss. An analysis of the efficiency of existing private photovoltaic power plants in the Krasnodar Territory showed that due to non-optimal spatial orientation and mutual shading of photovoltaic chains, the efficiency of the station decreased to 5-11%.

Библиографический список

1. Sunny portal. <https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPagesPlantList.aspx>.
2. Юдаев И. В., Даус Ю. В. Солнечная электроэнергетика юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития. Альтернативная энергетика в регионах России "АЭР-2018": материалы молодежной научной конференции. Астрахань, 2018. С. 45-49.
3. Brecl K., Bokalić M., Topić M. Annual energy losses due to partial shading in PV modules with cut wafer-based Si solar cells. *Renewable Energy*. 2021. V. 168. Pp. 195-203.
4. Bernadette D., Twizerimana M., Bakundukize A., Pierre B. J., Theoneste N. Analysis of Shading Effects in Solar PV System. *International Journal of Sustainable and Green Energy*. 2021. V. 10. P. 47.
5. Li C. Comparative performance analysis of grid-connected PV power systems with different PV technologies in the hot summer and cold winter zone. *International Journal of Photoenergy*. 2018. Pp. 1-9.
6. Ben Ayed R., Chakroun R., Derbel N., Ben Makhoul A., et al. Components' Tolerance Impact on the Design of a Real Case of One MW PV Substation. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2023. V. 3. Pp. 1-7.
7. Даус Ю. В., Ракитов С. А., Юдаев И. В. Оценка потенциала использования энергоустановок на основе преобразования солнечной энергии на примере г. Волгограда. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2016. № 2 (42). С. 261-267.
8. Appiah A. Y., Zhang X., Ayawli B. B. K., Kyeremeh F. Review and performance evaluation of photovoltaic array fault detection and diagnosis techniques. *International Journal of Photoenergy*. 2019. Pp. 1-19.
9. Daus Y. V., Yudaev I. V., Pavlov K. A., Dyachenko V. V. Increasing Solar Radiation Flux on the Surface of Flat-Plate Solar Power Plants in Kamchatka Krai Conditions. *Applied Solar Energy*. 2019. Vol. 55. No 2. Pp. 101-105.
10. Садуба Т. Р., Горячев С. В. Исследование влияния температуры на производительность фотоэлектрической панели. *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. 2019. Т. 19. № 8. С. 49-52.
11. Трембач С. А. Проблема перегрева солнечных панелей. Способ решения проблемы путём электронной тонировки. *Энергетический вестник*. 2020. № 26. С. 46-51.
12. Джумаев А. Я. Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической солнечной станции. *Технические науки - от теории к практике*. 2015. № 46. С. 33-40.
13. Панченко В. А. Конструкция и принцип работы складного теплофотоэлектрического концентраторного модуля с двусторонними фотоэлектрическими преобразователями. *Оригинальные исследования*. 2021. Т. 11. № 10. С. 5-12.

14. Fali H., Hamed A. J., Khalifa A. H. N. Techno-economic assessment of a hybrid connected PV solar system. International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration. 2022. V. 30 (3). Pp. 1-15.
15. Кузнецов П. Н., Юфеев Л. Ю. Повышение эффективности работы фотоэлектрических преобразователей при параллельной и смешанной коммутации. Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2018. № 8 (200). С. 78-81.
16. Lambert M., Martínez-Duró M., Rezaei-Zare A., Mahseredjian J. Topological Transformer Leakage Modeling With Losses. IEEE Transactions on Power Delivery. 2020. V. 35. I. 6. Pp. 2692-2699.
17. Alhmoud L., Al-Jiboory A. K. Insulated-gate bipolar transistor junction temperature estimation based on H ∞ robust controller in wind energy applications. Wind Engineering. 2020. V. 44. I. 5. Pp. 548-558.

References

1. Sunny portal. <https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPagesPlantList.aspx>.
2. Yudaev I. V., Daus Y. V. Solar Electric Power Industry of the South of Russia: Existing Potential, Operated Facilities, Development Prospects. Alternative Energy in the Regions of Russia "AER-2018": Proceedings of the Youth Scientific Conference. Astrakhan, 2018. Pp. 45-49.
3. Brecl K., Bokalić M., Topić M. Annual energy losses due to partial shading in PV modules with cut wafer-based Si solar cells. Renewable Energy. 2021. V. 168. Pp. 195-203.
4. Bernadette D., Twizerimana M., Bakundukize A., Pierre B. J., Theoneste N. Analysis of Shading Effects in Solar PV System. International Journal of Sustainable and Green Energy. 2021. V. 10. P. 47.
5. Li C. Comparative performance analysis of grid-connected PV power systems with different PV technologies in the hot summer and cold winter zone. International Journal of Photoenergy. 2018. Pp. 1-9.
6. Ben Ayed R., Chakroun R., Derbel N., Ben Makhlof A., et al. Components' Tolerance Impact on the Design of a Real Case of One MW PV Substation. Discrete Dynamics in Nature and Society. 2023. V. 3. Pp. 1-7.
7. Daus Y. V., Rakitov S. A., Yudaev I. V. Estimation of the Potential for the Use of Power Plants Based on the Conversion of Solar Energy on the Example of Volgograd. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Education professional education. 2016. No 2 (42). Pp. 261-267.
8. Appiah A. Y., Zhang X., Ayawli B. B. K., Kyeremeh F. Review and performance evaluation of photovoltaic array fault detection and diagnosis techniques. International Journal of Photoenergy. 2019. Pp. 1-19.
9. Daus Y. V., Yudaev I. V., Pavlov K. A., Dyachenko V. V. Increasing Solar Radiation Flux on the Surface of Flat-Plate Solar Power Plants in Kamchatka Krai Conditions. Applied Solar Energy. 2019. Vol. 55. No 2. Pp. 101-105.
10. Saduba T. R., Goryachev S. V. Study of the Effect of Temperature on the Performance of a Photovoltaic Panel. Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University. 2019. V. 19. № 8. Pp. 49-52.
11. Trembach S. A. Problem of Overheating of Solar Panels. A way to solve the problem by means of electronic tinting. Energy Herald. 2020. № 26. Pp. 46-51.
12. Dzumaev A. Y. Analysis of the Influence of Temperature on the Operating Mode of a Photovoltaic Solar Station. Technical sciences - from theory to practice. 2015. № 46. Pp. 33-40.
13. Panchenko V. A. Design and Principle of Operation of a Foldable Thermal Photovoltaic Concentrator Module with Two-Way Photoelectric Converters. Original research. 2021. V. 11. № 10. Pp. 5-12.
14. Fali H., Hamed A. J., Khalifa A. H. N. Techno-economic assessment of a hybrid connected PV solar system. International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration. 2022. V. 30 (3). Pp. 1-15.
15. Kuznetsov P. N., Yuferev L. Y. Improving the Efficiency of Photovoltaic Converters in Parallel and Mixed Commutation. Plumbing, heating, air conditioning. 2018. № 8 (200). Pp. 78-81.
16. Lambert M., Martínez-Duró M., Rezaei-Zare A., Mahseredjian J. Topological Transformer Leakage Modeling With Losses. IEEE Transactions on Power Delivery. 2020. V. 35. I. 6. Pp. 2692-2699.
17. Alhmoud L., Al-Jiboory A. K. Insulated-gate bipolar transistor junction temperature estimation based on H ∞ robust controller in wind energy applications. Wind Engineering. 2020. V. 44. I. 5. Pp. 548-558.

Информация об авторах

Даус Юлия Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры физики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: zirochka2505@gmail.com

Слюсарь Максим Олегович, студент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: 3.mo.sl.123@kubsau.ru

Панченко Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (Российская Федерация, 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. им. Образцова, д. 9, строение 9), старший научный сотрудник лаборатории электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5), e-mail: pancheska@mail.ru

Author's Information

Daus Yuliya Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, associate professor of the Physics department, «Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin» (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin str., 13), e-mail: zirochka2505@gmail.com

Slyusar Maksim Olegovich, student, «Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin» (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin str., 13), e-mail: 3.mo.sl.123@kubsau.ru

Panchenko Vladimir Anatolyevich, Candidate of Engineering Sciences, associate professor of the department of theoretical and applied mechanics, "Russian University of Transport" (Russian Federation, 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova St., 9, building 9), senior researcher of the laboratory of power supply, electrical equipment and renewable energy, "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Prospect, 5), e-mail: pancheska@mail.ru

**THE TECHNOLOGY OF REFRESHING IRRIGATION TO COMPENSATE FOR AIR DROUGHT
DURING THE ROOTING PERIOD OF GRAPE SEEDLINGS****Lytov M. N.***Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Received 28.02.2023

Submitted 19.04.2024

Summary

The technology of refreshing watering has been developed, which makes it possible to compensate for peak values of air drought, which is an important factor in increasing the efficiency of grape seedling production in a sharply continental climate.

Abstract

Introduction. The problem of the production of root-related seedlings is one of the important scientific directions in creating a technological chain that will ensure the effective development of viticulture in the Lower Volga region. At the same time, the humidity of the cuttings is the determining factor of its successful rooting. The critical point, when the evaporation of moisture from the aboveground part of the cuttings begins to exceed the intake of moisture even from well-moistened soil, is in the region of 40-50%. The relevance of research is determined by the need to create a technology to maintain air humidity above a critical level during periods of air droughts. **Object.** Planting of grape seedlings during the rooting of the cuttings, considered as an object of realization of climatic risk and mass death of plants due to a critical shift in the moisture balance and drying of growth buds. **Materials and methods.** The aim of the study is to develop an effective technology to compensate for air drought during the rooting of grape seedlings based on refreshing watering. To regulate the humidity in the plant environment, it was proposed to carry out periodic watering, ensuring continuous wetting of the soil surface to a minimum depth. Experimental verification of theoretically justified provisions was carried out on irrigated lands of the Dubovsky district of the Volgograd region. The area of the experimental plot is 1200 m², the area of the accounting plot is 300 m². **Results and conclusions.** Carrying out refreshing watering makes it possible to compensate for peak values of air drought, which is an important factor in increasing the efficiency of grape seedling production. Studies have found that continuous wetting of the soil surface makes it possible to create the necessary vector and source of vaporous moisture, which for a certain time effectively compensates for air drought in the surface layer occupied by vegetation. For refreshing irrigation, it is advisable to use a combined irrigation system, which combines the possibility of drip irrigation to regulate the water regime of the soil and microsprinklerized sprinkling to wet the soil surface. A one-time refreshing watering with wetting of the soil surface to a depth of no more than 2-3 cm ensures the regulation of the humidity of the surface air layer for 2.5-4.5 hours. Even on days of maximum air drought, 3-4 watering per day are enough to maintain a relative humidity of at least 50% in the plant environment. Compensation of air drought by carrying out refreshing watering allows the cuttings not only to restore the water balance, but also to form a certain reserve of resource to overcome adverse conditions in the future. The effectiveness of the technology was confirmed experimentally: the total yield of seedlings increased by 24.2%, elite planting material – by 12.6%.

Keywords: grape seedlings, water content of grape cuttings, refreshment irrigation, yield of root seedlings, irrigation of grapes.

Citation. Lytov M. N. The technology of refreshing irrigation to compensate for air drought during the rooting period of grape seedlings. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 404-411 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-46.

Author's contribution. The author 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 author declares that there is no conflict of interest.

УДК 631.674:634.75

**ТЕХНОЛОГИЯ ОСВЕЖИТЕЛЬНЫХ ПОЛИВОВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ
ВОЗДУШНОЙ ЗАСУХИ В ПЕРИОД УКОРЕНЕНИЯ ВИНОГРАДНЫХ САЖЕНЦЕВ****Лытов М. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент***ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А. Н. Костякова
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Проблема производства корнесобственных саженцев – это одно из важных научных направлений в создании технологической цепочки, которая обеспечит эффективное развитие виноградарства в Нижнем Поволжье. При этом влажность черенка является определяющим фактором

его успешного укоренения. Критическая отметка, когда испарение влаги с надземной части черенка начинает превышать поступления влаги даже из хорошо увлажненной почвы, находится в районе 40-50%. Актуальность исследований определяется необходимостью создания технологии поддержания влажности воздуха выше критического уровня в периоды воздушных засух. **Объект.** Посадки виноградных саженцев в период укоренения черенка, рассматриваемые как объект реализации климатического риска и массовой гибели растений из-за критического смещения баланса влаги и высыхания ростовых почек. **Материалы и методы.** Целью исследования является разработка эффективной технологии компенсации воздушной засухи в период укоренения виноградных саженцев на основе освежительных поливов. Для регулирования влажности воздуха в среде растений было предложено проведение периодических поливов, обеспечивающих сплошное смачивание поверхности почвы на минимальную глубину. Экспериментальная проверка теоретически обоснованных положений проводилась на орошаемых землях Дубовского района Волгоградской области. Площадь опытного участка 1200 м², площадь учетной делянки 300 м². **Результаты и выводы.** Проведение освежительных поливов позволяет компенсировать пиковые значения воздушной засухи, что является важным фактором повышения эффективности производства виноградных саженцев. Исследованиями установлено, что сплошное смачивание поверхности почвы позволяет создать необходимый вектор и источник парообразной влаги, который в течение определенного времени эффективно компенсирует воздушную засуху в приземном, занятом растительностью, слое. Для проведения освежительных поливов целесообразно использовать систему комбинированного орошения, которая сочетает возможность проведения капельных поливов для регулирования водного режима почвы и микроспринклерного дождевания для смачивания поверхности почвы. Разово проведенный освежительный полив со смачиванием поверхности почвы на глубину не более 2-3 см обеспечивает регуляцию влажности приземного слоя воздуха в течение 2,5-4,5 часов. Даже в дни максимальной воздушной засухи в день достаточно 3-4 поливов, чтобы поддерживать относительную влажность воздуха в среде растений не ниже 50%. Компенсация воздушной засухи проведением освежительных поливов позволяет черенку не только восстановить водный баланс, но и сформировать определенный запас ресурса для преодоления неблагоприятных условий в последующем. Эффективность технологии подтверждена экспериментально: суммарный выход саженцев увеличивался на 24,2%, элитного посадочного материала – на 12,6%.

Ключевые слова: виноградные саженцы, оводненность черенков винограда, освежительные поливы, выход корнесобственных саженцев, орошение винограда.

Цитирование. Лытов М. Н. Технология освежительных поливов для компенсации воздушной засухи в период укоренения виноградных саженцев. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 404-411. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-46.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Обеспечение высококачественными корнесобственными виноградными саженцами является актуальной задачей развития виноградарства [1-6]. Территория Нижней Волги с ее особенностями резко-континентального климата, характеризующимся жарким, засушливым летом и холодной малоснежной зимой, традиционно не рассматривалась в качестве приоритетных зон развития виноградарства. Однако высокая оценка результатов виноделия с уже сформированных терруаров этого региона, отличающихся интересным и во многом уникальным набором элементов экосистемы, говорит о том, что потенциал территории в этом плане существенно недооценен [7].

Проблема производства корнесобственных саженцев – это одно из важных научных направлений в создании технологической цепочки, которая обеспечит эффективное развитие виноградарства региона и конкурентные условия производства вин в сравнении с традиционными винодельческими регионами России. Низкая эффективность производства корнесобственных саженцев в регионе тесно связана с засушливостью климата, а главное – с низкой влажностью воздуха в период укоренения черенка [5, 8, 9]. Влажность черенка является определяющим фактором успешного укоренения и основная причина его гибели в почвенно-климатических условиях региона. Допустимый диапазон содержания влаги в черенке очень небольшой и любые значимые отклонения могут быстро привести к его гибели.

Собственно, влажность черенка, высаженного в питомнике, – динамический параметр, который определяется балансом поступления влаги из увлажненной почвы и расходом ее на испарение с поверхности надземной части. Проблема поддержания оптимальной влажности почвы сегодня успешно решается применением систем капельного

орошения, которые позволяют весьма гибко регулировать технологический процесс. Однако, даже при наличии легко доступной влаги в почве влажность черенка может понижаться из-за высокого испарительного потенциала окружающей среды, который и определяется никой влажностью воздуха.

Оптимальная влажность воздуха при создании наиболее благоприятных условий для укоренения черенка находится выше отметки в 80%. Снижение относительной влажности воздуха относительно этого диапазона увеличивает расход воды надземной частью черенка, но до определенного момента это компенсируется усилением поступления влаги из хорошо увлажненной почвы. Критическая отметка, когда испарение влаги с надземной части черенка начинает превышать поступления влаги даже из хорошо увлажненной почвы, находится в районе 40-50% [10]. К сожалению, в регионе нередко воздушные засухи, когда относительная влажность воздуха пересекает отметку 30% и даже 20% [11, 12]. Такие условия несут риск гибели высаженным в питомнике черенкам винограда, что в регионе является мощным фактором, определяющим снижение эффективности производства черенков в неблагоприятные годы.

Целью исследования является разработка эффективной технологии компенсации воздушной засухи в период укоренения виноградных саженцев на основе освежительных поливов.

Материалы и методы. С точки зрения теории процесса постановка задачи компенсации воздушной засухи в период укоренения виноградных саженцев имеет следующий вид [13]:

$$F(\varphi_{adc}) \in [\varphi_{ph.min}^{pl} - \varphi_a^{pl}; \varphi_{opt}^{pl} + \Delta\varphi_{opt}^{pl} - \varphi_a^{pl}] \quad (1)$$

где $F(\varphi_{adc})$ – необходимая для компенсации критического фактора величина регулирования влажности воздуха в среде посева, %; $\varphi_{ph.min}^{pl}$ – биологически обоснованный минимум регулируемого фактора, удержание которого необходимо для выживания растения, %; φ_a^{pl} – фактическая влажность воздуха, %; φ_{opt}^{pl} – биологически обоснованный минимум оптимального диапазона влажности воздуха, %; $\Delta\varphi_{opt}^{pl}$ – оптимальная область регулируемого фактора, %.

Рабочей гипотезой исследований стало предположение о необходимости введения регулятора, который бы способствовал поступлению парообразной влаги в режиме и в том объеме, который необходим для преодоления воздушной засухи. Имея заданную величину регуляторного действия, объем агента регулятора можно определить из выражения [14, 15]:

$$\Delta\varphi_{adc} = \frac{R \cdot T \cdot m_{agent}}{18 \cdot P_0 \cdot V_{air}} \quad (2)$$

где R – это универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – фактическая температура объема воздуха, для которого осуществляется регуляторное действие, °К; m_{agent} – массовая характеристика агента регулятора, кг; P_0 – давление насыщенного пара, кПа; V_{air} – объем среды, для которого осуществляется регуляторное действие, м³.

Динамика притока влаги со стороны агента регулятора, $\frac{dm_{agent}}{dt}$, описывается зависимостью:

$$\frac{dm_{agent}}{dt} = k_1 \cdot S_{ws} \cdot (P_0 - \varphi_a^{pl} \cdot P_0) \quad (3)$$

где S_{ws} – площадь распределения агента регулятора (площадь увлажнения), м²; k_1 – параметр, характеризующий динамику испарения влаги с площади увлажненной поверхности при разных уровнях дефицита влажности воздуха в среде растений, кг/(кПа·м²·с).

Из выражения (3) следует, что приток влаги со стороны регулятора пропорционален площади увлажнения. Учитывая это, было предложено использовать для регулирования влажности воздуха в среде растений посредством проведения поливов, обеспечивающих сплошное смачивание поверхности почвы на минимальную глубину. Решение этой задачи обеспечивается при использовании системы комбинированного орошения, сочетающего возможность гибкого локального регулирования влажности почвы в зоне посадки черенков и сплошного увлажнения поверхности почвы за счет использования микроспринклерного дождевания [16].

Экспериментальная проверка теоретически обоснованных положений была проведена на опытном участке в КФХ «Шишлянникова М. В.» Дубовского района Волгоградской области. Площадь опытного участка 1200 м², площадь учетной делянки 300 м².

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что проведение освежительных поливов и смачивание поверхности почвы на глубину 2-3 см позволяет создать необходимый вектор и источник парообразной влаги, который в течение определенного времени эффективно компенсирует воздушную засуху в приземном, занятом растительностью, слое (рисунки 1-3).

В первую, после высадки черенка, декаду относительная влажность воздуха опускалась до 20% в дневные часы. Характерно, что в суточном ходе наибольшая воздушная засуха проявляется во второй половине дня, что коррелирует с температурой воздуха. Повышение температуры воздуха и снижение его относительной влажности может быть довольно значительным в течение суток. В этом плане и потребность в освежительных поливах, как правило, также появляется в дневное время.

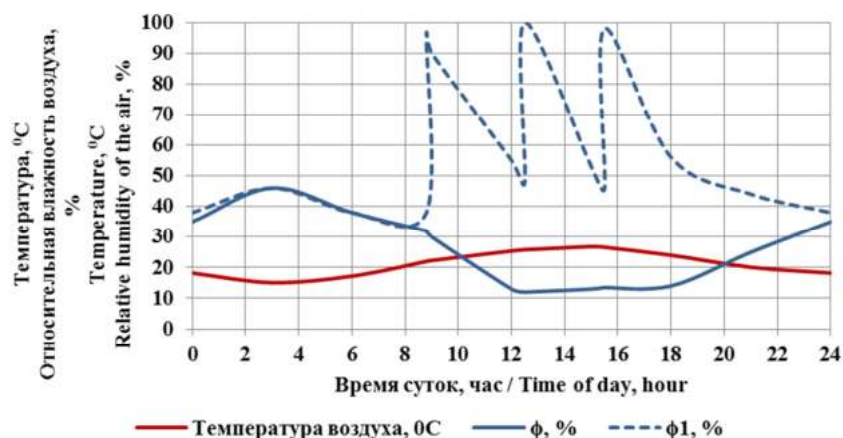


φ – без проведения освежительных поливов, φ1 – при проведении освежительных поливов (среднее 2021-2023 г.)

φ – without refreshing watering, φ1 – during refreshing watering

Рисунок 1 – Суточная динамика относительной влажности воздуха в 1 декаду после высадки черенков винограда

Figure 1 – Daily dynamics of relative humidity in 1 decade after planting of grape cuttings



φ – без проведения освежительных поливов, φ1 – при проведении освежительных поливов (среднее 2021-2023 г.)

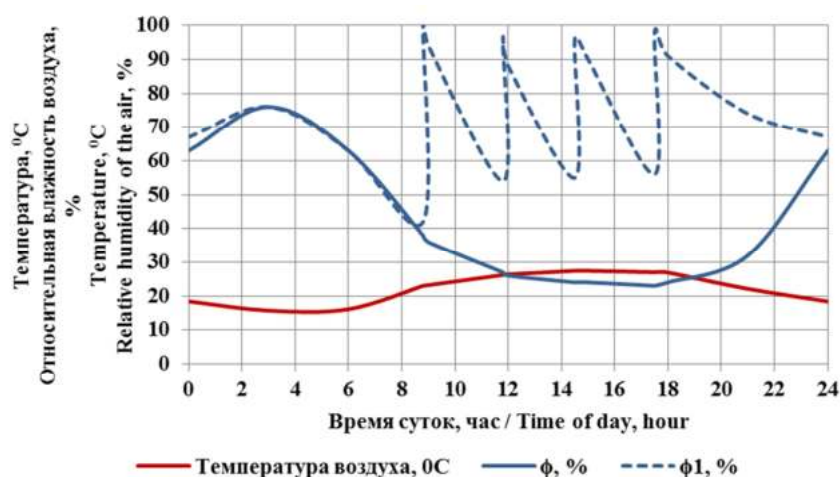
φ – without refreshing watering, φ1 – during refreshing watering (average 2021-2023)

Рисунок 2 – Суточная динамика относительной влажности воздуха в 2 декаду после высадки черенков винограда

Figure 2 – Daily dynamics of relative humidity in 2 decade after planting of grape cuttings

Еще одним фактором назначения освежительных поливов, преимущественно, в дневное время, является сопутствующий технологии физический процесс, заключающийся в отводе тепла с поверхности почвы при испарении влаги. Дело в том, что температура почвы при выращивании корнесобственных саженцев, особенно в период укоренения черенка, очень важна. И оптимальные температуры начинаются от 30°C. Если температура ниже, формирование корней на черенке замедляется, тогда как риск загнивания черенка возрастает. Отвод тепла с испаряющейся влагой в этот период следует считать неблагоприятным фактором, но он объективно сопутствует процессу насыщения парообразной влагой приземного слоя воздуха. Поэтому было установлено дополнительное ограничение, по которому освежительные поливы не назначались, если температура окружающей среды была ниже 22°C. Поэтому первый полив, даже при сохранении воздушной засухи в ночные часы проводили не ранее 9 часов утра, когда температура окружающего воздуха повышалась до установленного уровня, а температура почвы увеличивалась еще и за счет солнечной радиации.

Исследования показали, что проведение освежительного полива быстро поднимает относительную влажность воздуха в среде посева практически до 100%, однако сохраняется этот уровень недолго. Через непродолжительное время после окончания полива относительная влажность воздуха снижается до 88-92% и только потом динамика стабилизируется. Очередной освежительный полив в опыте назначали по достижению относительной влажности воздуха в среде растений отметки в 50%.



φ – без проведения освежительных поливов, φ1 – при проведении освежительных поливов
(среднее 2021-2023 г.)

φ – without refreshing watering, φ1 – during refreshing watering (average 2021-2023)

Рисунок 3 – Суточная динамика относительной влажности воздуха в 3 декаду после высадки черенков винограда

Figure 3 – Daily dynamics of relative humidity in 3 decade after planting of grape cuttings

Эффект от разово проведенного освежительного полива в зависимости энергетического состояния атмосферы сохранялся в течение 2,5-4,5 часов. Параметр этот очень динамичен и зависит от влажности воздуха вне зоны регулирования, температуры окружающей среды, ветровой активности, вегетативного покрытия и т.д. Однако даже в дни максимальной воздушной засухи в день достаточно 3-4 поливов, чтобы поддерживать относительную влажность воздуха в среде растений не ниже 50%.

Продолжительный период регулирования влажности приземного слоя воздуха определяется динамикой процесса испарения влаги с поверхности почвы. Чем глубже расположен слой, тем более продолжительное время испаряется влага, но тем меньше регуляторный потенциал технологии.

Приведенные на рисунках 1-3 графики показывают, что проведение освежительных поливов позволяет компенсировать опасное снижение влажности воздуха, преодолеть ту яму, которая формируется на участках, где компенсационные мероприятия не проводились. В ноч-

ной период относительная влажность воздуха возрастала, и влияние этого фактора становилось не столь выраженным. Однако, даже при формировании отрицательного баланса влаги в черенке в ночной период, следует понимать, что процесс этот занимает время. Возможность восполнить баланс влаги в черенке при проведении освежительных поливов создает определенный «запас прочности», – повышает вероятность преодоления риска и укоренения черенка. Это предположение подтвердилось полученными результатами (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели эффективности выращивания саженцев винограда при компенсации воздушной засухи, 2021-2023 г.

Table 1 – Indicators of the efficiency of growing grape seedlings to compensate for air drought, 2021-2023

Показатель / Index	Вариант опыта / Experience Option				HCP ₀₅	
	Контроль / control		с проведением освежительных поливов / with refreshing watering			
	Саженцы / Seedlings					
	Элитные / Elite	1 сорта / Grades 1	Элитные / Elite	1 сорта / Grades 1	Элитные / Elite	1 сорта / Grades 1
Выход саженцев, шт. / Yield of seedlings, pcs.	82544	12895	98953	27957	112	87
Выход саженцев, % / Yield of seedlings, %	63,5	9,9	76,1	21,5	3,9	2,6
Длина вызревшего побега, см / Length of mature shoot, cm	37	24	42	28	1,5	1,2
Количество корней с толщиной у основания не менее 2 мм / Number of roots with a thickness of at least 2 mm at the base	8	4	12	6	1,8	1,5
Диаметр побега у основания, мм / Shoot diameter at the base, mm	6,7	3,5	8,8	4,7	0,8	0,6

Экспериментально полученные данные показали, что без проведения компенсационных мероприятий в отношении воздушной засухи в период укоренения черенков, выход саженцев винограда не превышает 95439 шт. или 73,4%, если считать растения элиты и первого сорта. Из этих саженцев требованиям элиты соответствовало 63,5% саженцев, тогда как еще 9,9% были отнесены к посадочному материалу 1 сорта. Совокупный выход саженцев на участках, где проводили освежительные поливы, составил 126910 шт. растений или почти 97,6% всех высаженных черенков. Существенно увеличилась и доля элитных саженцев, сформированных на участках этого варианта. Всего здесь было получено 98953 шт. элитных саженца, что на 16409 растений больше, чем на участках, где компенсационные мероприятия не проводились. Кроме того, было получено 27957 шт. саженцев 1 сорта.

Опытами установлено, что компенсация пиков воздушной засухи в период укоренения черенков оказывает существенное влияние и на качество саженцев. В частности, элитный посадочный материал, выращенный без проведения компенсационных мероприятий, характеризовался средней длиной вызревшего побега 37 см, растения имели до 8 корешков с толщиной основания не менее 2 мм, а средний диаметр саженца у основания составлял мм. Элитные виноградные саженцы, выращенные на участках, где проводили освежительные поливы, имели лучшие товарные параметры, так как отличались больше длиной побега, 42 см, и имели средний диаметр у основания 8,8 мм. Число хорошо развитых корней с диаметром у основания не менее 2 мм достигало 12.

Саженцы винограда, отнесенные к категории 1 сорта, характеризовались малым диаметром у основания растений, 3,5-4,7 мм. Хочется отметить, что на участках, где освежительные поливы проводили, число корней с диаметром у основания более 2 мм достигало 6, а средняя длина побега составила 28 см, – то есть по этим показателям растения соответствовали элитному посадочному материалу.

Выводы. Таким образом, проведение освежительных поливов позволяет компенсировать пиковые значения воздушной засухи, что является важным фактором повышения эффективности производства виноградных саженцев. Для проведения освежительных поливов целесообразно использовать систему комбинированного орошения, которая сочетает возможность проведения капельных поливов для регулирования водного режима почвы и микроспринклерного дождевания для смачивания поверхности почвы. Сплошное смачивание поверхности почвы позволяет создать необходимый вектор и источник парообразной влаги, который в течение определенного времени эффективно компенсирует воздушную засуху в приземном, занятом растительностью, слое. Опытами установлено, что разово проведенный освежительный полив со смачиванием поверхности почвы на глубину не более 2-3 см обеспечивает регуляцию влажности приземного слоя воздуха в течение 2,5-4,5 часов. Даже в дни максимальной воздушной засухи в день достаточно 3-4 поливов, чтобы поддерживать относительную влажность воздуха в среде растений не ниже 50%. Компенсация воздушной засухи проведением освежительных поливов позволяет черенку не только восстановить водный баланс, но и сформировать определенный запас ресурса для преодоления неблагоприятных условий в последующем. Опытами подтверждено возможность повышения суммарного выхода саженцев винограда на 24,2%, элитного посадочного материала – на 12,6%. В натуральном выражении эта прибавка только по элитным саженцам составляет 16409 шт.

Conclusions. Thus, carrying out refreshing watering makes it possible to compensate for the peak values of air drought, which is an important factor in increasing the efficiency of grape seedling production. For refreshing irrigation, it is advisable to use a combined irrigation system, which combines the possibility of drip irrigation to regulate the water regime of the soil and sprinkling to wet the soil surface. Continuous wetting of the soil surface makes it possible to create the necessary vector and source of vaporous moisture, which for a certain time effectively compensates for air drought in the surface layer occupied by vegetation. Experiments have established that a one-time refreshing watering with wetting of the soil surface to a depth of no more than 2-3 cm ensures the regulation of the humidity of the surface air layer for 2.5-4.5 hours. Even on days of maximum air drought, 3-4 waterings per day are enough to maintain a relative humidity of at least 50% in the plant environment. Compensation of air drought by carrying out refreshing watering allows the cuttings not only to restore the water balance, but also to form a certain reserve of resource to overcome adverse conditions in the future. Experiments have confirmed the possibility of increasing the total yield of grape seedlings by 24.2%, and elite planting material by 12.6%. In physical terms, this increase only for elite seedlings is 16409 pcs.

Библиографический список

1. Габимова Е. Н. Агробиологическая оценка различных способов выращивания корнесобственных саженцев винограда. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 68 (2). С. 116-129.
2. Серет О. Л. Усовершенствование технологии производства саженцев для укрывной зоны виноградарства. Вестник КрасГАУ. 2021. № 8 (173). С. 80-84.
3. Иванова М. И., Потанин Д. В. Применение автоматических технологических карт при подборе эффективной технологии выращивания виноградных саженцев. Агропродовольственная экономика. 2020. № 3. С. 73-77.
4. Аскеров Э. С. Агроэкологические основы формирования высокопродуктивных насаждений винограда и экономическая эффективность их возделывания. Проблемы развития АПК региона. 2020. № 1 (41). С. 7-13.
5. Овчинников А. С., Григоров С. М., Ратанов М. В., Келлер Д. А. Водопотребление виноградной школки при различных технологиях посадки. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2 (38). С. 88-104.
6. Павлюченко Н. Г., Мельникова С. И., Колесникова О. И., Зимина Н. И. Влияние агрохимических средств на биометрические показатели привитых саженцев в школке. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2018. № 49 (1). С. 85-94.
7. Овчинников А. С., Бородычев В. В., Гуренко В. М. К вопросу разработки закона и программы развития отрасли виноградарства и виноделия в Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 14-28.
8. Курапина Н. В., Лавренко К. В., Котельникова С. С. Технология выращивания посадочного материала амурского винограда (*Vitis amurensis*) на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Актуальные вопросы науки. 2018. № 38. С. 191-193.
9. Кружилин И. П., Курапина Н. В., Гусев Д. Э. Элементы технологии выращивания саженцев винограда при капельном орошении. Природообустройство. 2008. № 3. С. 25-29.
10. Овчинников А. С., Бородычев В. В., Храбров М. Ю., Гуренко В. М. Перспективы развития виноградарства и виноделия в Нижневолжском регионе. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1 (37). С. 6-13.

11. Коршунова Н. Н., Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Давлетшин С. Г. Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и её регионов. Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. 2018. № 183. С. 20-30.
12. 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.
13. Лытов М. Н. Целевые функции компенсации климатических рисков возделывания сельскохозяйственных культур при комплексном использовании гидротехнических мелиораций. Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 4. С. 67-85.
14. Воротынцев А. В. Приближенная модель переноса тепла и влаги в системе почва-растение с учетом баланса энергии. Вестник Бурятского государственного университета. 2014. № 9-1. С. 22-26.
15. Салугин А. Н. К вопросу о математическом моделировании процесса испарения. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 2 (95). С. 12-19.
16. Лытов М. Н. Агробиологическая эффективность комбинированного орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье. Аграрная Россия. 2022. № 10. С. 3-7.

References

1. Habibova E. N. Agrobiological Assessment of Various Methods of Growing Root Grape Seedlings. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2021. № 68 (2). Pp. 116-129.
2. Seget O. L. Improvement of the technology of seedling production for the covering zone of viticulture. Vestnik KrasGAU. 2021. № 8 (173). Pp. 80-84.
3. Ivanova M. I., Potanin D. V. Application of Automatic Technological Maps in the Selection of Effective Technology for Growing Grape Seedlings. Agri-Food Economy. 2020. № 3. Pp. 73-77.
4. Askerov E. S. Agroecological Foundations for the Formation of Highly Productive Plantations of Grapes and Economic Efficiency of Their Cultivation. Problems of development of the agro-industrial complex of the region. 2020. № 1 (41). Pp. 7-13.
5. Ovchinnikov A. S., Grigorov S. M., Ratanov M. V., Keller D. A. Water consumption of the grape school under various planting technologies. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. № 2 (38). Pp. 88-104.
6. Pavlyuchenko N. G., Melnikova S. I., Kolesnikova O. I., Zimina N. I. Influence of Agrochemical Agents on Biometric Indicators of Grafted Seedlings in School. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2018. № 49 (1). Pp. 85-94.
7. Ovchinnikov A. S., Borodychev V. V., Gurenko V. M. On the Issue of Developing a Law and a Program for the Development of the Viticulture and Winemaking Industry in the Volgograd Region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2020. № 2 (58). Pp. 14-28.
8. Kurapina N. V., Lavrenko K. V., Kotelnikova S. S. Technology of growing planting material of Amur grapes (*Vitis amurensis*) on light chestnut soils of the Volgograd region. Topical Issues of Science. 2018. № 38. Pp. 191-193.
9. Kruzhilin I. P., Kurapina N. V., Gusev D. E. Elements of the Technology of Growing Grape Seedlings in Drip Irrigation. Environmental Management. 2008. № 3. Pp. 25-29.
10. Ovchinnikov A. S., Borodychev V. V., Khrabrov M. Yu., Gurenko V. M. Prospects for the Development of Viticulture and Winemaking in the Lower Volga Region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2015. № 1 (37). Pp. 6-13.
11. Korshunova N. N., Bulygina O. N., Razuvaev V. N., Davletshin S. G. Estimates of Temperature Extremes and Precipitation Regimes for the Territory of the Russian Federation and Its Regions. Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center. 2018. № 183. Pp. 20-30.
12. Melikhov V. V., Zibarov A. A., Melikhova N. P., Romanova A. V. Nature and Direction of Changes in Climatic Parameters of the Volgograd Region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2019. № 1 (53). Pp. 60-67.
13. Lytov M. N. Target Functions of Compensation of Climatic Risks of Agricultural Crops Cultivation in the Complex Use of Hydrotechnical Land Reclamation. Land reclamation and hydraulic engineering. 2022. V. 12. № 4. Pp. 67-85.
14. Vorotyntsev A. V. Approximate Model of Heat and Moisture Transfer in the Soil-Plant System Taking into Account the Energy Balance. Bulletin of the Buryat State University. 2014. № 9-1. Pp. 22-26.
15. Salugin A. N. On the Question of Mathematical Modeling of the Evaporation Process. Arid ecosystems. 2023. V. 29. № 2 (95). Pp. 12-19.
16. Lytov M. N. Agrobiological Efficiency of Combined Irrigation of Agricultural Crops in the Lower Volga Region. Agrarian Russia. 2022. № 10. Pp. 3-7.

Информация об авторе

Лытов Михаил Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова», (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Author's Information

Lytov Michail Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, The All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture is a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

ANALYSIS OF DESIGNS AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CHISEL PLOWS AND SUBSOILERS

¹Malyukov S. V., ²Shavkov M. V., ¹Petkov A. F.,
¹Cherenkov D. S., ¹Popov M. A., ¹Bolgov A. V.

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forest Engineering University
named after G. F. Morozov»

²Limited Liability Company «Rushydrocom»
Voronezh, Russian Federation

Corresponding author E-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Received 19.03.2024

Submitted 15.05.2024

*The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 22-79-10010,
<https://rscf.ru/project/22-79-10010>*

Abstract

Introduction. Improvement of soil tillage processes is the key to quality cultivation of various crops in agriculture and forestry. It is necessary to introduce minimum tillage with minimum energy and labor inputs, providing optimal soil wellness. Deepening of arable layer brings positive results. Creating more favorable conditions for the development of the root system and root nutrition of plants. **Object.** The object of research is the design of chisel plows and subsoilers, and their working parts. **Materials and methods.** Data was collected in the Yandex search system, as well as in other electronic libraries and information and analytical portals (eLIBRARY, Base, Google Scholar, Springer Link, CyberLeninka). The information was systematized using cluster analysis. Using the computer software package Microsoft Excel and STATISTICA, horizontal dendrograms of similarities and differences in the parameters of the studied aggregates were constructed. The distances between objects were specified as the Chebychev distance metric, and the Unweighted pair-group centroid method was used as a measure of cluster connection. The search for publications was carried out by year from 2014 to 2024. **Results and conclusion.** A brief review of loosening working bodies shows that the existing tools have both individual advantages and disadvantages. The analysis of modern working bodies of chisel plows and deep loosening plows has allowed to find ways of further improvement of designs of produced serial implements, which will allow to reduce costs for soil tillage and will be deprived of their disadvantages. The optimum scheme of arrangement of working bodies in the machine – in two rows in staggered order – has been chosen.

Keywords: chisel plows, subsoilers, tillage, loosening elements, arrangement of working parts.

Citation. Malyukov S. V., Shavkov M. V., Petkov A. F., Cherenkov D. S., Popov M. A., Bolgov A. V. Analysis of designs and technological parameters of chisel plows and subsoilers. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 412-422 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-47.

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 631.316.22

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЧИЗЕЛЬНЫХ ПЛУГОВ И ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЕЙ**

¹Малюков С. В., кандидат технических наук, доцент

²Шавков М. В., кандидат технических наук

¹Петков А. Ф., инженер

¹Черенков Д. С., преподаватель СПО

¹Попов М. А., аспирант

¹Болгов А. В., студент

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»

²ООО «Русгидроком (РГК)»

г. Воронеж, Российская Федерация

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10010,
<https://rscf.ru/project/22-79-10010/>*

Актуальность. Совершенствование процессов обработки почвы является залогом качественного выращивания различных культур в сельском и лесном хозяйстве. Необходимо внедрять минимальную обработку почвы с минимальными энерго- и трудозатратами, обеспечивая оптимальную скважность почвы. Углубление пахотного слоя приносит положительные результаты. Создавая более благоприятные

условия для развития корневой системы и корневого питания растений. **Объект.** Объектом исследования являются конструкции чизельных плугов и глубоких рыхлителей и их рабочие органы. **Материалы и методы.** В поисковой системе «Яндекс», а также в иных электронных библиотеках и в информационно-аналитических порталах (eLIBRARY, Base, Академия Google, Springer Link, КиберЛенинка) проводился сбор данных. Сведения систематизировались при помощи кластерного анализа. При помощи компьютерного пакета программ Microsoft Excel и STATISTICA построили горизонтальные дендрограммы сходства и различия параметров исследуемых агрегатов. Расстояния между объектами задавались как расстояние Чебышева (Chebychev distance metric), а в качестве меры связи кластеров был применен невзвешенный центроидный метод (Unweighted pair-group centroid). Поиск публикаций проводился по годам с 2014 по 2024 гг. **Результаты и выводы.** Краткий обзор рыхлительных рабочих органов показывает, что имеющиеся орудия обладают как отдельными достоинствами, так и недостатками. Проведенный анализ современных рабочих органов чизельных плугов и глубоких рыхлителей позволил найти пути дальнейшего совершенствования конструкций выпускаемых серийных орудий, которые позволят снизить затраты на обработку почвы и будут лишены их недостатков. Выбрана оптимальная схема расположения рабочих органов в агрегате – в два ряда в шахматном порядке.

Ключевые слова: чизельные плуги, глубоких рыхлители, обработка почвы, рыхлительные элементы, схемы расстановки рабочих органов.

Цитирование. Малюков С. В., Шавков М. В., Петков А. Ф., Черенков Д. С., Попов М. А., Болгов А. В. Анализ конструкций и технологических параметров чизельных плугов и глубоких рыхлителей. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 412-422. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-47.

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. Спрос на энергосберегающие технологии обработки почвы при минимальном воздействии на нее [4, 18, 24, 28] в последнее время стал наиболее востребованной тенденцией в лесном [2] и сельском хозяйстве. Высокозатратную отвальную вспашку стараются заменить безотвальной рыхлительной. Методы глубокого рыхления [5, 9, 15, 25, 30], позволяющие разуплотнить (один раз в 3-5 лет) почву, активно внедряются в традиционные технологии обработки почвы, использующие отвальную вспашку. Эти изменения вызваны стремлением уменьшить плотность почвы, сохранить в ней влагу, снизить расходы горючих материалов, сэкономить силы и время рабочих [3, 11, 18, 26, 29].

В борьбе с водной и ветровой эрозией почвы наиболее эффективными способами являются методы минимальной обработки почвы. При этом должны быть соблюдены определенные условия: минимальная величина поверхностной обработки почвы; структура нижнего горизонта почвы должна быть улучшена. Чизельный плуг позволяет выполнить только последнее условие, а глубокий рыхлитель – все представленные условия.

Цель работы: произвести обзор конструкций чизельных плугов и глубоких рыхлителей, определить взаимосвязи схемы расстановки рабочих органов рыхлителей и процессов деформации почвы.

Материалы и методы. Объект исследования – конструкции чизельных плугов и глубоких рыхлителей и их рабочие органы. Предметом исследования является взаимодействие рабочих органов агрегатов с почвенной средой. Для анализа конструкций чизельных плугов и глубоких рыхлителей были использованы различные открытые источники информации. Были изучены серийные образцы агрегатов как отечественных, так и зарубежных фирм. В поисковой системе «Яндекс», а также в иных электронных библиотеках и в информационно-аналитических порталах (eLIBRARY, Base, Академия Google, Springer Link, КиберЛенинка) с запросами: (чизельные плуги) ИЛИ (глубоких рыхлители) ИЛИ (плуги-рыхлители) ИЛИ (Subsoilers) И (Deep Cultivators) проводился поиск информации. Поиск публикаций проводился по годам с 2014 по 2024 гг.

Из большого разнообразия почвообрабатывающих агрегатов были отобраны несколько образцов чизельных плугов и глубоких рыхлителей и проведен их кластерный анализ по нескольким параметрам: ширина захвата, глубина обработки почвы, количество рабочих органов, рабочая скорость, масса, требуемая мощность трактора. При помощи компьютерного пакета программ Microsoft Excel и STATISTICA построили горизонтальные дендрограммы сходства и различия параметров исследуемых агрегатов. В данной программе расстояния между объектами были заданы как расстояние Чебышева, а в качестве меры связи кластеров был применен невзвешенный центроидный метод.

Результаты и обсуждение. При помощи чизельных рыхлителей производится безотвальная обработка почвы. В зависимости от форм и конструктивных особенностей рабочих органов их можно разделить на чизельные плуги и глубокорыхлители [12, 14, 16-18, 27, 28].

Назначение чизельных плугов [3, 4, 19] и глубокорыхлителей сводится к основной обработке почвы и углублению ее пахотного слоя. Они могут применяться взамен весенней вспашки. При работе глубокорыхлитель нарушает верхний плодородный слой почвы в меньшей мере, поэтому он может быть также использован для улучшения пастбищ и лугов. Глубокорыхлители способны обрабатывать почву свыше 45 см, в этом качестве чизельные плуги им уступают. Их интервал глубин находится в пределах 20-45 см. В состав рабочих органов данных орудий обычно входит стойка. Она размещается в продольно-вертикальной плоскости. В нижней части стойки крепятся различные рыхлительные элементы самых разнообразных размеров и форм – лапы, крылья, зубы, долота. С целью изменения характера взаимодействия почвенного пласта с рабочим органом конструктивно стойка может быть изогнута в поперечной плоскости, а также иметь наклон в продольной плоскости.

В настоящее время различными производителями почвообрабатывающего оборудования выпускается огромное количество рыхлительных плугов. Все они имеют оригинальную конструкцию, защищенную авторскими свидетельствами и патентами. Они отличаются между собой конструктивным исполнением и схемами расстановки рабочих органов [7, 8, 10, 13, 20-23]. Выделяются три такие схемы: клиновидная, многорядная, однорядная. Клиновидная схема может быть интерпретирована как многорядная, только в ней каждый последующий рабочий орган смещен в продольном направлении.

В зависимости от требуемого качества реализации технологического процесса, металлоемкости, простоты, надежности конструкции, а также от энергозатрат на обработку почвы производится выбор схемы расстановки рабочих органов.

В тех конструкциях плугов, где нет необходимости перекрывать зоны рыхления рабочих органов, обычно применяется однорядная или двухрядная расстановка рабочих органов, с незначительным их смещением. Примером однорядной расстановки рабочих органов может служить глубокорыхлитель НК 200/3 (рисунок 1), выпускаемый фирмой SMS CZ s.r.o. (Чехия) [1].



Рисунок 1 – Глубокорыхлитель НК 200/3
Figure 1 – Subsoiler NK 200/3

Недостатком однорядной расстановки является то, что при работе может формироваться сплошной почвенный вал, вызванный пересечением зон обработки почвы рабочих органов, вследствие сужения междуследия до некоторого значения. В данном случае не будет обеспечена требуемая надежность технологического процесса. Энергозатраты на рыхление почвы увеличиваются, поскольку между идущими рядом рабочими органами происходит защемление почвы.

Конструктивная простота орудия является преимуществом данной схемы. Рабочие органы, устанавливаемые при помощи кронштейнов на единственном фронтальном бруске рамы, имеют возможность поперечного смещения. В некоторых случаях, рабочие органы могут быть размещены по обе стороны от бруса рамы. Это может быть достигнуто за счет особенной конструкции кронштейнов. При таком исполнении однорядная расстановка превращается в двухрядную, благодаря продольному смещению рабочих органов.

Двухрядная расстановка рабочих органов в шахматном порядке в последнее время нашла достаточно широкое применение. Она позволяет сохранить высокие требования к надежности технологического процесса рыхления почвы. При проектировании отечественных чизельных плугов ПЧ-2,5 (рисунок 2) и ПЧ-4,5 (рисунок 3), а также в некоторых иностранных, например, глубокорыхлитель Delta-new 3,0 (Австралия) (рисунок 4) [1], бралась за основу именно такая схема. Они агрегируются с тракторами К-701, К-744, МТЗ 3022ДВ и др.

Шахматная расстановка позволяет сделать шире расстояние между соседними рабочими органами, что способствует лучшему прохождению растительных остатков и почвы между ними. Достоинством такой схемы расположения рабочих органов является уменьшение металлоемкости и увеличение прочности и жесткости рамы в целом. Недостатком может служить усложнение конструкции агрегата.



Рисунок 2 – Плуг чизельный ПЧ-2,5
Figure 2 – Chisel plow PCH-2.5



Рисунок 3 – Плуг чизельный ПЧ-4,5
Figure 3 – Chisel plow PCH-4.5



Рисунок 4 – Глубокорыхлитель Delta-new 3,0
Figure 4 – Subsoiler Delta-new 3,0

Рабочие органы агрегата при клиновидной их расстановке попадают в такие условия, при которых возникает смежная борозда. Рабочие органы при этом стремятся занять наиболее выгодное для себя положение, т.е. стараются пройти по уже разрыхленной борозде. Смещение почвы происходит в том же направлении. Этот эффект носит двойственный результат. Положительным моментом здесь является то, что идущий следом рабочий орган засыпает щель, которая образуется впереди идущим рабочим органом. Отрицательной стороной является то, что при некоторых условиях на стыках смежных проходов агрегата, а также по оси борозды происходит формирование вала почвы. Имеет место рост тягового сопротивления орудия, вызванного защемлением почвы рабочими органами, при малом их продольном смещении относительно друг друга.

Конструктивная простота рамы, а также возможность свободного размещения предохранительных устройств рабочих органов в продольном направлении является достоинством клиновидной схемы. При этом не всегда удается уменьшить металлоемкость конструкции.

Результаты сравнительного анализа параметров конструкций чизельных плугов и глубокорыхлителей представлены в таблицах 1 и 2, а также на рисунках 5 и 6.

Таблица 1 – Сравнительный анализ параметров конструкций чизельных плугов [1]

Table 1 – Comparative analysis of design parameters of chisel plows [1]

Машина / Machine	Ширина захвата, м / Working width, m	Глубина обработки почвы, см / Depth of tillage, cm	Количество рабочих органов, шт. / Number of working tools, pcs.	Рабочая скорость, км/ч / Operating speed, km/h	Масса, кг / Weight, kg	Требуемая мощность трактора, л.с. / Required tractor power, hp
ПЧ-4,5 / PCh-4.5	4,5	20-45	11	10	2800	300
ПЧ-2,5 / PCh-2.5	2-2,5	30-45	5	10	1270	155-200
Гефест РН-2,5 / Hephaest RN-2.5	2,5	20-45	7	12	1080	120-140
ЧИП-2В / CHIP-2V	2	20-45	4	8-10	1290	120-140
РЧН-4,5 / RFN-4.5	4,6	30-35	10	10	2250	230
ГРН-3 / GRN-3	2,4	45	4	2,5-7	1192	90-120
ПРБ-3 / PRB-3	2,8	28-45	6	7-10	1540	130-150
ПЧН-2,7К / PCHN-2.7K	2,7	45	6	10	1390	150
ГР-1,8 / GR-1.8	1,8	25-45	7	8-12	480	150
НК 200/3 / NK 200/3	2	45	3	6-8	810	203,9-244,7
Франк-2,5 / Frank-2.5	2,5	20-45	5	8-12	1420	160-220
Гульден / Guilder	4	30-45	7	6-10	2680	300

Проанализировав диаграмму (рисунок 5), можно увидеть, что она разделена на девять кластеров. В первый кластер вошли агрегаты (ПЧ-4,5, Гульден), у которых все параметры – высокие. Во втором кластере размещен агрегат (РЧН-4,5), который имеет один низкий параметр (глубина обработки почвы), остальные – высокие. Плуг чизельный ПЧ-2,5, входящий в третий кластер, имеет два высоких параметра (глубина обработки почвы, рабочая скорость), два средних параметра (масса, требуемая мощность трактора), два низких параметра (ширина захвата, количество рабочих органов). В четвертом – агрегаты (ПРБ-3, ПЧН-2,7К), имеющие один высокий параметр (глубина обработки почвы), четыре средних параметра (ширина захвата, количество рабочих органов, рабочая скорость, масса) и один низкий (требуемая мощность

трактора). В пятом находится плуг чизельный (ЧИП-2В), у него один высокий параметр (глубина обработки почвы), два средних (рабочая скорость, масса), остальные показатели – низкие (ширина захвата, количество рабочих органов, требуемая мощность трактора). В шестом кластере находится глубокорыхлитель (НК 200/3), который имеет один высокий параметр (глубина обработки почвы), один средний параметр (требуемая мощность трактора), остальные низкие. В седьмом кластере – глубокорыхлитель (ГРН-3), который имеет один высокий параметр (глубина обработки почвы), остальные показатели – низкие. В восьмом кластере собраны агрегаты (Гефест РН-2,5 Франк-2,5), которые имеют два высоких параметра (глубина обработки почвы, рабочая скорость), один низкий (ширина захвата), остальные – средние. В девятом кластере находится глубокорыхлитель (ГР-1,8), имеющий два высоких параметра (глубина обработки почвы, рабочая скорость), два средних параметра (количество рабочих органов, требуемая мощность трактора), два низких параметра (ширина захвата, масса).

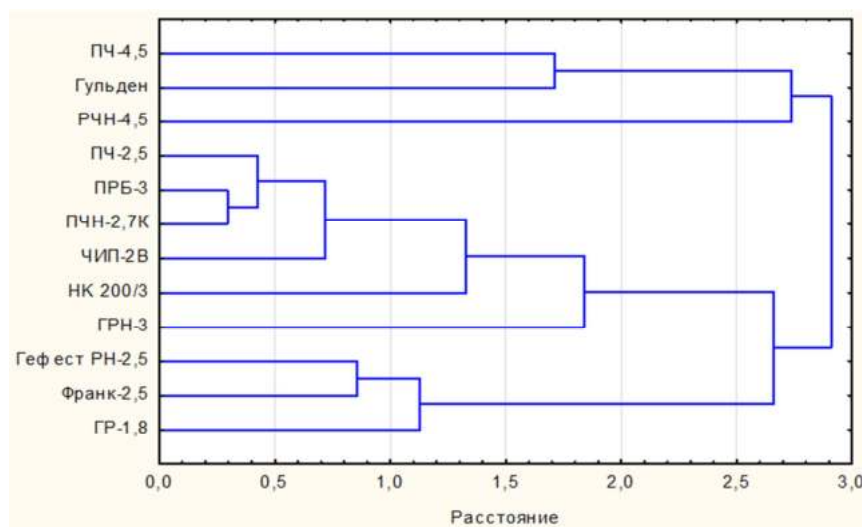


Рисунок 5 – Дендрограмма сходства и различия параметров конструкций чизельных плугов
Figure 5 – Dendrogram of similarities and differences between chisel plow design parameters

Таблица 2 – Сравнительный анализ параметров конструкций глубокорыхлителей [1]
Table 2 – Comparative analysis of subsoiler design parameters [1]

Машина / Machine	Ширина захвата, м / Working width, m	Глубина обработки почвы, см / Depth of tillage, cm	Количество рабочих органов, шт. / Number of working tools, pcs.	Рабочая скорость, км/ч / Operating speed, km/h	Масса, кг / Weight, kg	Требуемая мощность трактора, л.с. / Required tractor power, hp
SPA-2/3	2	10-50	7	4-8	1056	80-120
ГРН-3.2 / UAH-3.2	3,2	50	8	8-12	960	230
Delta-new 3,0	3	65	4	7	2150	150
Attila 250	2,5	55	5	6-10	800	110-180
Paragrubber ECO 3000	3	50	6	4-6	780	110
ГРН-2,4 / UAH-2.4	2,4	25-50	6	8-12	850	150
ГЧН-4,5 / PPN-4.5	4,5	50	7	10	2280	300
ГЩ-4М Евро / GSh-4M Euro	3,9	40-50	5	2,5-7	1715	300
Тектоник / Tectonic	4	65	9	10-12	3140	300-350
ПЧГ-3 / PChG-3	3	20-60	5	8-10	860	150

Из приведенной диаграммы (рисунок 6) видим, что она поделена на семь отдельных кластеров. В первом собраны агрегаты (SPA-2/3, Paragrubber ECO 3000), у которых один высокий параметр (глубина обработки почвы), один средний (количество рабочих органов), четыре показателя – низкие (ширина захвата, рабочая скорость, масса, требуемая мощность трактора). Во втором кластере стоит глубокорыхлитель (ГРН-3.2), который имеет один низкий параметр (масса), один средний параметр (ширина захвата), остальные – высокие. В третий кластер вошли глубокорыхлители (Attila 250, ГРН-2,4), которые имеют один высокий параметр (рабочая скорость), остальные – низкие. В четвертом находится агрегат (ПЧГ-3), имеющий три средних параметра (ширина захвата, глубина обработки почвы, рабочая скорость) и три низких (количество рабочих органов, масса, требуемая мощность трактора). В пятом находятся глубокорыхлители (ГЧН-4,5, ГЩ-4М Евро), у них два высоких параметра (ширина захвата, требуемая мощность трактора), три средних (глубина обработки почвы, рабочая скорость, масса), один низкий (количество рабочих органов). В шестом кластере находится глубокорыхлитель (Delta-new 3,0), который имеет один высокий параметр (глубина обработки почвы), два средних параметра (ширина захвата, масса), три низких (количество рабочих органов, рабочая скорость, требуемая мощность трактора). В седьмом кластере – глубокорыхлитель (Тектоник), который имеет все высокие параметры.

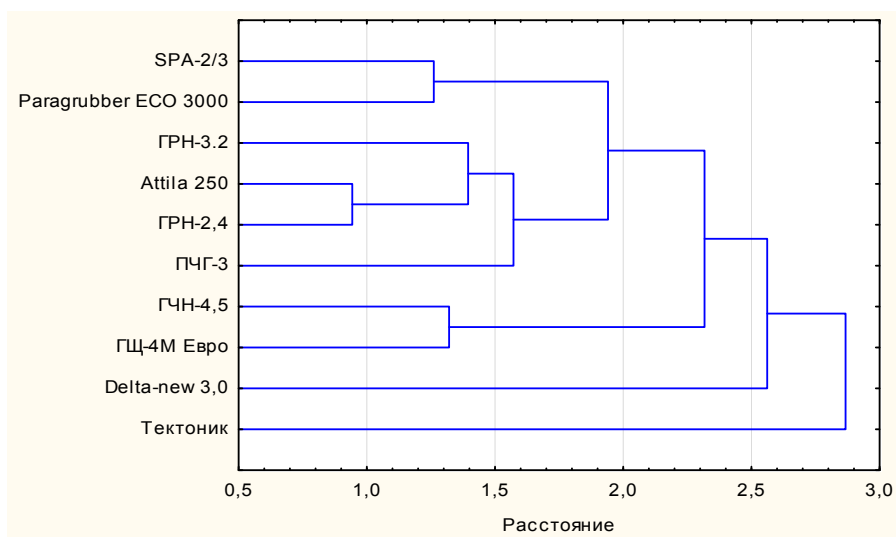


Рисунок 6 – Дендрограмма сходства и различия параметров конструкций глубокорыхлителей
Figure 6 – Dendrogram of similarities and differences between subsoiler design parameters

Рабочие органы плугов позволяют перемешивать и рыхлить нижние слои почвы. Они разрушают плотные пласты земли за счёт особой формы рабочей поверхности. В соответствии с этим рабочий орган чизельного плуга состоит из стойки 1, долота 2, зуба 3 (либо устанавливается обтекатель), крыла 4 (рисунок 7).



Рисунок 7 – Состав рабочего органа чизельного рыхлителя
Figure 7 – Composition of the working body of the chisel ripper

По форме стойки можно разделить на прямые (рисунок 8, а), дугообразные (дельтаплау) (рисунок 8, б), плоские изогнутой формы (параплау) (рисунок 8, в), нижняя часть которой расположена под некоторым углом к продольно-вертикальной плоскости [6]. Основное назначение стойки – нести рыхлительные элементы – долото или боковые крылья. В некоторых случаях боковые крылья выполнены в виде долота с уширителем. Боковые крылья, в свою очередь, служат для подрезания корней растений и увеличения зоны обработки почвы.

Долото может иметь самые разнообразные формы и размеры. Традиционно его рабочая поверхность имеет прямую, плоскую форму. Также встречаются образцы, имеющие небольшие зубья. Боковые крылья имеют плоскую клиновидную форму рабочей поверхности.

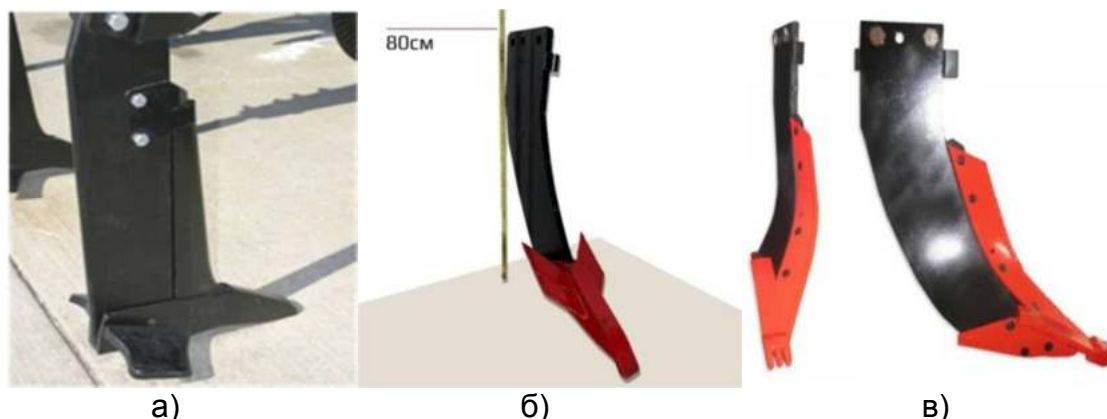


Рисунок 8 – Рабочие органы чизельных рыхлителей
Figure 8 – Working bodies of chisel rippers

Долото и боковые крылья при работе испытывают большие динамические нагрузки, при длительной эксплуатации они сильно изнашиваются, поэтому их делают съемными. В случае износа долото просто переворачивается.

С целью защиты стойки рабочего органа от износа, на ней иногда устанавливается обтекатель, который частично принимает участие в обработке почвы. Его обычно делают той же формы что и стойку. Незначительная вовлеченность обтекателя в технологический процесс позволяет ему иметь достаточно большой срок службы. Он в разы больше, чем срок службы боковых крыльев и долота. Производители чизельных плугов и глубокорыхлителей, при проектировании формы обтекателя и стойки, стараются сделать их самоочищающимися. Однако это не всегда получается, поэтому некоторые рабочие органы имеют увеличенное тяговое сопротивление вследствие забивания растительными остатками, что ведет к большим материальным затратам и нарушению технологического процесса.

Закключение. Краткий обзор рыхлительных рабочих органов показывает, что имеющиеся орудия обладают как отдельными достоинствами, так и недостатками. Проведенный анализ современных рабочих органов чизельных плугов и глубокорыхлителей позволил найти пути дальнейшего совершенствования конструкций выпускаемых серийных орудий, которые позволят снизить затраты на обработку почвы и будут лишены их недостатков.

После проведенного анализа, мы пришли к выводу, что расстановка рабочих органов в шахматном порядке в два ряда наиболее полно удовлетворяет всем агротехническим требованиям. При такой схеме имеется возможность продольного смещения рабочих органов, а также изменения междуследия. Конструкция агрегата при этом является достаточно работоспособной и относительно простой.

Conclusions. A brief review of ripping working tools shows that the available tools have both separate advantages and disadvantages. The analysis of modern working bodies of chisel ploughs and deep loosening ploughs allowed us to find ways to further improve the designs of manufactured serial implements, which will reduce the costs of tillage and will be deprived of their disadvantages.

After the analysis, we came to the conclusion that the arrangement of working bodies in staggered order in two rows most fully satisfies all agrotechnical requirements. With this scheme there is a possibility of longitudinal displacement of working tools, as well as change of intercropping. The design of the machine is quite workable and relatively simple.

Библиографический список

1. АгроБаза. https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_6a214443-02e9-43a8-bb2f-c27ca92cf679?ysclid=ltbj5wamsr87904426.
2. Бартенев И. М. Комбинированная почвообрабатывающая машина для защитного лесоразведения. Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 4. С. 31-36.
3. Бойков В. М., Старцев С. В., Павлов А. В., Нестеров Е. С., Башмаков И. А. Разработка схемы почвообрабатывающего орудия с рациональной расстановкой чизельных рабочих органов. Аграрный научный журнал. 2018. № 12. С. 56-58.
4. Гапич Д. С., Швабауэр Ю. А., Субботин С. И., Губайдулин Д. С. Снижение тягового сопротивления чизельных орудий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 398-409.
5. Карпов С. Н., Кожухов А. А., Герасимов Е. В., Хаустов П. А. Технологии почвозащитной обработки: пути развития. Вестник АПК Ставрополя. 2019. № 1 (33). С. 8-13.
6. Классификация чизельных плугов и культиваторов глубокихрыхлителей для трактора. <https://vseomt.ru/spravochnik-traktorista/chizelnii-plug?ysclid=ltbo2scwhi94505898>
7. Комаров С. А., Савельев Ю. А., Ишкин П. А. Анализ средств механизации для глубокой обработки почвы. Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения: сборник научных трудов. Кинель, 2016. С. 338-344.
8. Лабух В. М., Шмидов Д. В. Оптимизация геометрических параметров глубокихрыхлителя. Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2016. № 1 (15). С. 58-65.
9. Маслов Г. Г., Шишкин М. А. Совершенствование технологии глубокого рыхления почвы. Известия Велюкопукской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4. С. 44-48.
10. Машков С. В., Авдеев Д. А. Анализ конструкций рабочих органов для глубокой обработки почвы. Самара АгроВектор. 2021. Т. 1. № 1. С. 40-44.
11. Михайлин А. А., Максимов В. П. Оценка эффективности обработки богарных склоновых земель в южных районах ростовской области инновационным глубокихрыхлителем ГНЧ-0,6М. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (52). С. 123-129.
12. Михайлин А. А. Натурные испытания инновационного глубокихрыхлителя в режиме "обработка склонов". Вестник НГИЭИ. 2021. № 1. С. 5-16.
13. Михальченков А. М., Феськов С. А., Жуков А. Б., Осадчий Р. В. Анализ функциональных особенностей орудий для глубокого рыхления. Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2019. № 1 (18). С. 51-56.
14. Нагайка М. А., Щукин С. Г., Головатюк В. А. Исследование рабочего процесса вибрационного глубокихрыхлителя. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (128). С. 110-115.
15. Посметьев В. И., Малюкова М. А., Никонов В. О. Расчет устойчивости рыхлителя на этапе заглубления с учетом мгновенного центра вращения звеньев его оборудования. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2015. № 1. С. 303-308.
16. Романюк Н. Н., Нукешев С. О., Тойгамбаев С. К., Теловов Н. К. Оригинальный глубокихрыхлитель для улучшения свойств плодородного слоя почвы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 2. С. 76-78.
17. Тойгамбаев С. К., Омаров Т. С., Абенов А. Т., Теловов Н. К. Назначение и область применения комбинированного орудия-глубокихрыхлителя. Агропродовольственная экономика. 2023. № 4. С. 23-29.
18. Щилов В. Н., Пархоменко Г. Г. Оценка энергетических и агротехнологических показателей глубокихрыхлителя с использованием обобщенного показателя эффективности. Вестник аграрной науки Дона. 2014. № 1 (25). С. 4-10.
19. Щилов В. В., Хижняк В. И., Несмиян А. Ю., Хлыстов Е. И., Бобряшов А. П. Усовершенствование конструкции чизельного плуга. Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 4. С. 7-10.
20. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudaev I., Egorov V. Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation. E3S Web of Conferences. Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering "CONMECHYDRO 2021". 2021. 04025.
21. Blednykh V. V., Svehnikov P. G., Troyanovskaya I. P., Grishin A. N. Working elements with repetitive cutting angles for subsurface ploughs. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2017. No 2 (93). Pp. 134-140.
22. Cortez L. A., Marques Júnior J., Peluco R. G., Siqueira D. S., Siansi F. L., Barbosa R. S., Furlani C. E. A., Camargo L. A., Silva L. S., Gomes R. P. Subsoiling of an oxisol at fixed and varying depth in areas under sugarcane. Precision Agriculture. 2020. Vol. 21. No 6. Pp. 1351-1365.
23. Chuyanov D., Shodmonov G., Ergashov G., Choriyeu I. Combination machine for soil preparation and sowing of gourds. E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2021". 2021.
24. Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 012036.
25. Juraev F. U., Artikova M. M., Isayeva L. B., Turaev S. S. Substantiation of technology and equipment for improving the reclamation state of saline soils in irrigated agriculture. The Way of Science. 2019. No 11 (69). Pp. 52-55.
26. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Ustroeu A. A., Kudryavtsev P. P. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 012025.
27. Kalinin A. B., Novikov M. A., Ruzhev V. A., Teplinsky I. Z. Improving the efficiency of the soil uncompaction by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 723. 032061.

28. Ovchinnikov A. S., Mezheva A. S., Fomin S. D., Pleskachev Y. N., Borisenko I. B., Vorontsova E. S., Zvolinsky V. P., Tyutyuma N. V., Novikov A. E. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12. No 24. Pp. 7150-7160.
29. Starovoytov S. I., Akhalaya B. H., Sidorov S. A., Mironova A. V. The trend of tillage equipment development. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Vol. 51. No 3. Pp. 77-81.
30. Telovov N. K. Achieve high crop yields using a combined instrument for deep loosening. *Scientific Discoveries. Proceedings of articles the international scientific conference*. 2016. Pp. 27-30.

References

1. AgroBase. https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_6a214443-02e9-43a8-bb2f-c27ca92cf679?ysclid=ltbj5wamsr87904426.
2. Bartenev I. M. Combined tillage machine for protective afforestation. *Tractors and agricultural machines*. 2018. No 4. Pp. 31-36.
3. Boykov V. M., Startsev S. V., Pavlov A. V., Nesterov E. S., Bashmakov I. A. Development of a soil cultivation scheme with a reasonable arrangement of chisel working bodies. *Agricultural scientific journal*. 2018. No 12. Pp. 56-58.
4. Gapich D. S., Shvabauer Yu. A., Subbotin S. I., Gubaidulin D. S. Reducing the traction resistance of chisel guns. *News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education*. 2023. No 4 (72). Pp. 398-409.
5. Karpov S. N., Kozhukhov A. A., Gerasimov E. V., Khaustov P. A. Soil protection technologies: ways of development. *Bulletin of the agrarian and industrial complex of Stavropol region*. 2019. No 1 (33). Pp. 8-13.
6. Classification of chisel plows and subsoiler cultivators for tractors. <https://vseomtz.ru/spravochnik-traktorista/chizelnii-plug?ysclid=ltbo2scwhi94505898>
7. Komarov S. A., Savelyev Yu. A., Ishkin P. A. Analysis of mechanization means for deep tillage. Current problems of agricultural science and ways to solve them. *Collection of scientific papers*. Kinel, 2016. Pp. 338-344.
8. Labukh V. M., Shmidov D. V. Optimization of geometric parameters of the subsoiler. *Design, use and reliability of agricultural machinery*. 2016. No 1 (15). Pp. 58-65.
9. Maslov G. G., Shishkin M. A. Improving the technology of deep soil loosening. *News of Velikoluksk State Agricultural Academy*. 2016. No 4. Pp. 44-48.
10. Mashkov S. V., Avdeev D. A. Analysis of the designs of working bodies for deep tillage. *Samara AgroVector*. 2021. Vol. 1. No 1. Pp. 40-44.
11. Mikhailin A. A., Maksimov V. P. Assessment of the efficiency of processing rainfed slope lands in the southern regions of the Rostov region with the innovative subsoiler GNCh-0.6M. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2019. No 4 (52). Pp. 123-129.
12. Mikhailin A. A. Full-scale testing of an innovative subsoiler in the "slope treatment" mode. *Bulletin of NGIEI*. 2021. No 1. Pp. 5-16.
13. Mikhalechenkov A. M., Feskov S. A., Zhukov A. B., Osadchiy R. V. Analysis of the functional features of deep loosening tools. *Design, use and reliability of agricultural machinery*. 2019. No 1 (18). Pp. 51-56.
14. Nagaika M. A., Shchukin S. G., Golovatyuk V. A. Study of the working process of a vibratory subsoiler. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2015. No 6 (128). Pp. 110-115.
15. Posmeteyev V. I., Malyukova M. A., Nikonov V. O. Calculation of the stability of the ripper at the deepening stage, taking into account the instantaneous center of rotation of the links of its equipment. *Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High technologies. Ecology*. 2015. No 1. Pp. 303-308.
16. Romanyuk N. N., Nukeshev S. O., Toigambaev S. K., Telovov N. K. An original subsoiler for improving the properties of the fertile soil layer. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2014. No 2. Pp. 76-78.
17. Toigambaev S. K., Omarov T. S., Abenov A. T., Telovov N. K. Purpose and scope of application of the combined subsoiler implement. *Agri-food economics*. 2023. No 4. Pp. 23-29.
18. Shchirov V. N., Parkhomenko G. G. Assessment of the energy and agrotechnological indicators of the subsoiler using a generalized efficiency indicator. *Bulletin of agrarian science of the Don*. 2014. No 1 (25). Pp. 4-10.
19. Shchirov V. V., Khizhnyak V. I., Nesmiyan A. Yu., Khlystov E. I., Bobryashov A. P. Improvement of the chisel plow design. *Tractors and agricultural machines*. 2016. No 4. Pp. 7-10.
20. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudaev I., Egorov V. Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation. *E3S Web of Conferences. Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering "CONMECHYDRO 2021"*. 2021. 04025.
21. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P., Grishin A. N. Working elements with repetitive cutting angles for subsurface ploughs. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2017. No 2 (93). Pp. 134-140.
22. Cortez L. A., Marques Júnior J., Peluco R. G., Siqueira D. S., Siansi F. L., Barbosa R. S., Furlani C. E. A., Camargo L. A., Silva L. S., Gomes R. P. Subsoiling of an oxisol at fixed and varying depth in areas under sugarcane. *Precision Agriculture*. 2020. Vol. 21. No 6. Pp. 1351-1365.
23. Chuyanov D., Shodmonov G., Ergashov G., Choriyeu I. Combination machine for soil preparation and sowing of gourds. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2021"*. 2021.
24. Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 012036.
25. Juraev F. U., Artikova M. M., Isayeva L. B., Turaev S. S. Substantiation of technology and equipment for improving the reclamation state of saline soils in irrigated agriculture. *The Way of Science*. 2019. No 11 (69). Pp. 52-55.
26. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Ustroev A. A., Kudryavtsev P. P. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 012025.

27. Kalinin A. B., Novikov M. A., Ruzhev V. A., Teplinsky I. Z. Improving the efficiency of the soil uncompaction by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 723. 032061.

28. Ovchinnikov A. S., Mezheva A. S., Fomin S. D., Pleskachev Y. N., Borisenko I. B., Vorontsova E. S., Zvolinsky V. P., Tyutyuma N. V., Novikov A. E. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. No 24. Pp. 7150-7160.

29. Starovoytov S. I., Akhalaya B. H., Sidorov S. A., Mironova A. V. The trend of tillage equipment development. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 2020. Vol. 51. No 3. Pp. 77-81.

30. Telovov N. K. Achieve high crop yields using a combined instrument for deep loosening. Scientific Discoveries. Proceedings of articles the international scientific conference. 2016. Pp. 27-30.

Информация об авторах

Малюков Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8) ORCID: [http:// orcid.org/0000-0003-2098-154X](http://orcid.org/0000-0003-2098-154X), e-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Шавков Михаил Викторович, кандидат технических наук, руководитель отдела логистики и снабжения ООО «Русгидроком (РГК)» (Российская Федерация, 394040, г. Воронеж, ул. Мазлумова, д. 25), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: shavkovmv@mail.ru

Петков Александр Федорович, инженер кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1765-6781>, e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru

Черенков Дмитрий Сергеевич, преподаватель СПО, ВГЛУ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: chierienkov1999@mail.ru

Попов Максим Александрович, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), e-mail: popovmaxim98@mail.ru

Болгов Андрей Вячеславович, студент группы ТМ2-201-ОБ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), e-mail: bolgovtacher@gmail.com

Author's Information

Malyukov Sergey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), ORCID: [http:// orcid.org/0000-0003-2098-154X](http://orcid.org/0000-0003-2098-154X), e-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Shavkov Mikhail Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Head of the logistics and supply department of Rushydrocom (RGK) LLC (Russian Federation, 394040, Voronezh, Mazlumova St., 25), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: shavkovmv@mail.ru

Petkov Aleksander Fedorovich, Engineer of the department of forestry mechanization and machine design of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1765-6781>, e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru

Cherenkov Dmitriy Sergeevich, VET teacher, Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozova", (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8) e-mail: chierienkov1999@mail.ru

Popov Maksim Aleksandrovich, Post-graduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), e-mail: popovmaxim98@mail.ru

Bolgov Andrey Vyacheslavovich, Student, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), e-mail: bolgovtacher@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-48

THE METHOD OF ARRANGEMENT OF WORKING BODIES BASED ON HYDRODYNAMIC ANALOGY ON THE CULTIVATOR FRAME

¹Parhomenko G. G., ^{1,2}Kambulov S. I., ^{1,3}Belousov S. V.

¹Agrarian Scientific Center "Donskoy" structural subdivision "SKNIIMESH"
Zernograd, Russian Federation

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

³Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

Received 11.04.2024

Submitted 30.05.2024

Abstract

Introduction. The paper presents issues related to the justification of the placement of a new working body for surface tillage in the composition of the cultivator and their location on the frame. **Materials and methods.** When cultivating the soil, the relationship of the indicators of the technological process with the parameters and modes

of operation of the new working bodies of the "Scat" type. The impact of working organs of this type creates a Bauschinger effect in the soil. Moreover, the development of the influence of the wave effect due to the shape of the working organ spreads from the entire surface. Field studies of the new working body have also been conducted. **Results.** When cultivating the soil, the relationship of the indicators of the technological process with the parameters and modes of operation of the new working bodies of the "Scat" type. The impact of working organs of this type creates a Bauschinger effect in the soil. Moreover, the development of the influence of the wave effect due to the shape of the working organ spreads from the entire surface. Field studies of the new working body have also been conducted. **Discussions and conclusion.** When arranging the working bodies of the "Ramp" type on the cultivator frame for more complete tillage, it is necessary to ensure their overlap in the transverse direction. The technology of tillage with a new working organ can be characterized by some technological parameters: the depth of loosening, the speed of the aggregate, the width of the working organ, the hardness of the soil and, due to the resulting mass movement after exposure to the soil from the Bauschinger effect, the acceleration of the free fall of soil particles. It is also worth noting that the amount of self-determination of semi-blocked cutting indicates a decrease in soil resistance acting on the working body "Ramp", since it functions in partially destroyed soil. The justification for the arrangement of working bodies on the cultivator frame in the indicated way indicates that after the passage of the cultivator, a high-quality soil layer is formed, which is an extremely important technological parameter in preparing the soil for sowing.

Key words: tillage, cultivator working tools, cultivators, technical characteristics of working tools.

Citation. Parkhomenko G. G., Kambulov S. I., Belousov S. V. The method of arrangement of working bodies based on hydrodynamic analogy on the cultivator frame. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 422-429 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-48.

Author's contribution. All the authors of this article took part in the analysis, planning, research and mathematical calculations to justify the theoretical dependencies that reduce the vibrations of the rod using the new technology. The authors reviewed and approved the received version of the article.

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

УДК 631.316.022

МЕТОД РАССТАНОВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АНАЛОГИИ НА РАМЕ КУЛЬТИВАТОРА

¹Пархоменко Г. Г., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
^{1,2}Камбулов С. И., доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник
^{1,3}Белоусов С. В., кандидат технических наук, доцент

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

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

³Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина
г. Краснодар, Российская Федерация

Актуальность. В работе излагаются вопросы, связанные с обоснованием расстановки нового рабочего органа для поверхностной обработки почвы в составе культиватора и их расположение на раме. **Материалы и методы.** При обработке почвы взаимосвязь показателей технологического процесса с параметрами и режимами функционирования новых рабочих органов типа «Скат». Воздействие рабочих органов такого типа создает в почве эффект Баушингера. Причем развитие влияния волнового эффекта из-за формы рабочего органа распространяется от всей поверхности. Также проведены полевые исследования нового рабочего органа. **Обсуждение и выводы.** При расстановке рабочих органов типа «Скат» на раме культиватора более полноценной обработки почвы необходимо обеспечить их перекрытие в поперечном направлении. Технологию обработки почвы новым рабочим органом можно охарактеризовать некоторыми технологическими параметрами: глубиной рыхления, скоростью агрегата, шириной захвата рабочего органа твердостью почвы и, вследствие возникающего перемещения масс после воздействия на почву от эффекта Баушингера, ускорением падения частиц почвы. Также стоит отметить, что величина самоопределения полублокированного резания свидетельствует о снижении сопротивления почвы, действующего на рабочий орган «Скат», поскольку он функционирует в частично разрушенной почве. Обоснование расстановки рабочих органов на раме культиватора обозначенным образом свидетельствует о том, что после прохода культиватора образуется качественный почвенный слой, что является крайне важным технологическим параметром при подготовке почвы к посеву.

Ключевые слова: обработка почвы, рабочие органы культиватора, культиваторы, технические характеристики рабочих органов.

Цитирование. Пархоменко Г. Г., Камбулов С. И., Белоусов С. В. Метод расстановки рабочих органов на основе гидродинамической аналогии на раме культиватора. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 422-429. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-48.

Авторский вклад. Все авторы данной статьи принимали участие в анализе, планировании, исследовании и математических расчетах, для обоснования теоретических зависимостей снижающих колебания штанги с использованием новой технологии. Авторы ознакомились и одобрили полученный вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Поверхностная обработка почвы на глубину до 12 см, наряду с основной обработкой до 35 см, – важный технологический процесс при возделывании сельскохозяйственных культур. Как правило, ее используют для формирования посевного ложа, обеспечивающего равномерное расположение семян при посеве. Равномерность посева семян по глубине необходимо соблюдать для обеспечения более полных и выровненных всходов. Кроме того, равномерность поверхностной обработки влияет на качество внесения стартовых доз удобрения при посеве сельскохозяйственных культур [1, 2].

Форма рабочих органов для поверхностной обработки оказывает воздействие на ряд важных факторов, как управляемых, так и нет. По результатам анализа литературных источников и согласно экспертной оценке ведущих ученых были получены данные, что наиболее важный из них – тяговое сопротивление. Среди качественных показателей работы наибольшее значение имеет выровненность поверхностного слоя, а также минимальное количество опасных эрозионных частиц, которое возникает после обработки почвы.

При исследовании поверхностной обработки почвы, как правило, изучают процессы движения рабочего органа в разрушенном верхнем слое при постоянной скорости культиватора, независимо от переходных процессов при разгоне и торможении трактора в начале и конце гона. Иными словами, если провести аналогию с гидродинамическими процессами, в нашем случае рассматривается равновесное состояние потока жидкости в трубе, которое приобретает верхний разрушенный слой почвы при постоянной скорости культиватора. Поскольку изменение скорости культиватора во времени отсутствует, поток разрушенного верхнего слоя почвы принято считать установившемся. При выборе соответствующих значений средней скорости культиватора обеспечивается её постоянство в заданном интервале времени, турбулентный режим движения разрушенного верхнего слоя почвы можно рассматривать как установившийся поток [3, 4].

Переходной процесс возникает в начале взаимодействия рабочего органа культиватора с почвой и далее устанавливается по мере постоянного схода пласта, подвергнутого крошению, то есть при его полном проникновении на заданную глубину. При постоянном сходе пласта слой почвы, который был подвергнут крошению поверхностью рабочего органа культиватора, процесс поверхностной обработки почвы становится стационарным по аналогии с равновесным состоянием потока в гидродинамике.

При уменьшении длительности подъёма почвы в начале взаимодействия с рабочим органом культиватора, отношение его длины и толщины пласта при его полном проникновении рабочего органа на заданную глубину переходный процесс может быть сокращён. В структуре общей длительности процесса поверхностной обработки почвы сокращение переходного процесса способствует увеличению установившегося. Решение этой задачи возможно путем оптимизации формы рабочего органа культиватора.

Ранее была обоснована конструкция рабочего органа культиватора с переменными углами крошения и установки режущей кромки ко дну борозды [5] и предложена конструкция рабочих органов культиватора в виде криволинейных стрельчатых лап, которые спроектированы по принципу обтекаемости по аналогии и на основе бионического формообразования [6, 7].

Цель исследований – совершенствование технологического процесса предпосевной обработки почвы путем оптимизации параметров нового рабочего органа.

Материалы и методы. В отделе механизации растениеводства АНЦ «Донской» разработан рабочий орган «Скат» с криволинейными поверхностями повышенной обтекаемости для поверхностной обработки почвы, обеспечивающий рост производительности культиваторного агрегата благодаря функционированию при высокой скорости (рисунок 1).



Рисунок 1 – Рабочий орган «Скат» для поверхностной обработки почвы
Figure 1 – Working body "Ramp" for surface tillage

Результаты и обсуждение. При расстановке рабочих органов «Скат» на раме культиватора необходимо обеспечить их перекрытие в поперечном направлении. Это позволит избежать огрехов при обработке почвы и полностью уничтожить сорную растительность в процессе резания со скольжением при взаимодействии с рабочим органом «Скат». Кроме того, перекрытие необходимо в случае отклонения направления движения культиватора от прямолинейного. Такое изменение можно охарактеризовать углом ϖ , который определяется в зависимости от расстановки рабочих органов «Скат» в продольном направлении L с учётом ширины перекрытия Δ (рис. 2) по формуле:

$$\operatorname{tg} \varpi = \frac{\Delta}{L} \quad (1)$$

При выборе величины перекрытия необходимо также учитывать возникновение дополнительной степени свободы при шарнирном креплении рабочих органов «Скат» к раме культиватора, по сравнению с жёстким [8, 9]. Размер M представляет собой расстояние между стойками рабочих органов в поперечном направлении (рисунок 2) и определяется с учётом перекрытия Δ .

Для обеспечения обработки почвы без огрехов рабочие органы «Скат» целесообразно расположить на бруске рамы культиватора под углом к направлению движения агрегата, по стрелообразной схеме, таким образом будет достигаться оптимальное перекрытие (рисунок 3). Это позволяет обеспечить условие полублокированного резания при поверхностной обработке почвы, что окажет положительное влияние на энергоёмкость процесса [10, 11].

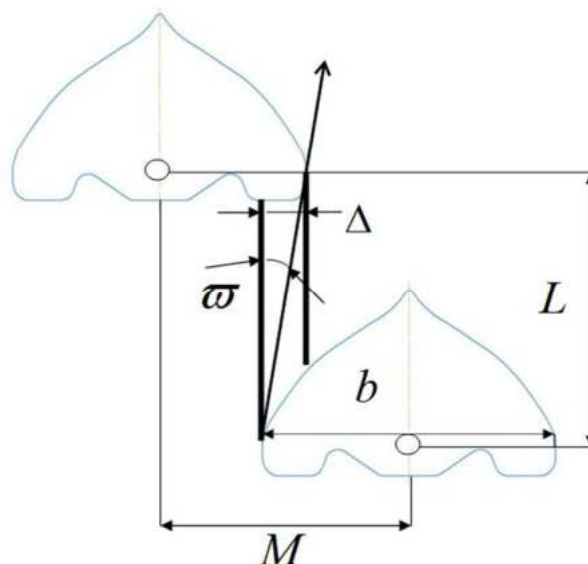


Рисунок 2 – Перекрытие рабочих органов «Скат» на раме культиватора: Δ – величина перекрытия работы рабочих органов; ω – угол схода отклонения направления движения культиватора от прямолинейного; b – ширина захвата рабочих органов; L – продольное расположение рабочих органов; M – расстояние между средними линиями рабочих органов

Figure 2 – Overlap of the working bodies "Ramp" on the cultivator frame: Δ – the amount of overlap of the working bodies; ω – the angle of descent of the deviation of the direction of movement of the cultivator from the rectilinear; b – the width of the working bodies; L – the longitudinal arrangement of the working bodies; M – the distance between the middle lines of the working bodies

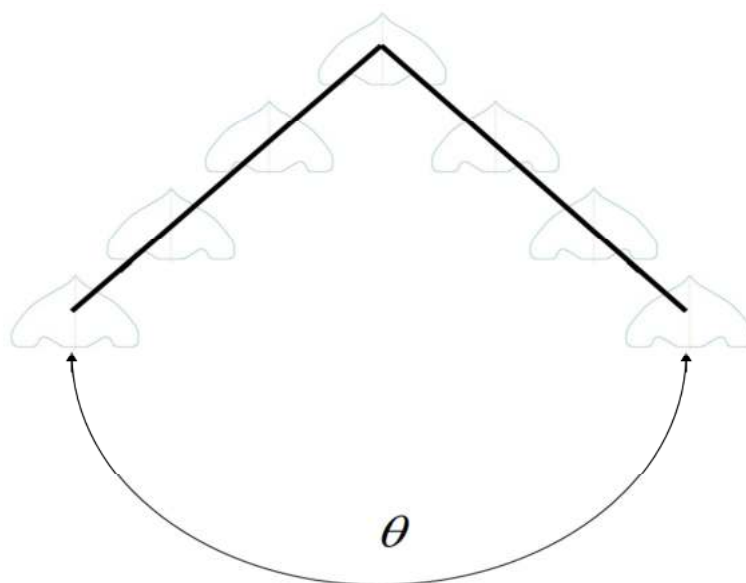


Рисунок 3 – Стрелообразная схема размещения рабочих органов «Скат»: θ – угол раствора установки рабочих органов на раме культиватора.

Figure 3 – Arrow-shaped layout of the working bodies "Ramp": θ – the angle of the solution for installing the working bodies on the cultivator frame.

Величина самоопределения полублокированного резания свидетельствует о снижении сопротивления почвы, действующего на рабочий орган «Скат», поскольку он функционирует в частично разрушенной почве [8]. Процесс блокированного резания и наибольшее сопротивление почвы наблюдается только у первого по направлению движения рабочего органа «Скат», расположенного в основании стрелы рамы культиватора [8].

Расстояние между стойками рабочих органов «Скат» в продольном направлении при стрелообразной схеме размещения можно рассчитать по формуле:

$$L = M \cdot \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

где M – расстояние между средними линиями рабочих органов; θ – угол раствора установки рабочих органов на раме культиватора

При этом следует предусмотреть достаточное расстояние L для обеспечения покрытия зоны деформации межстоечного пространства (рисунок 4).

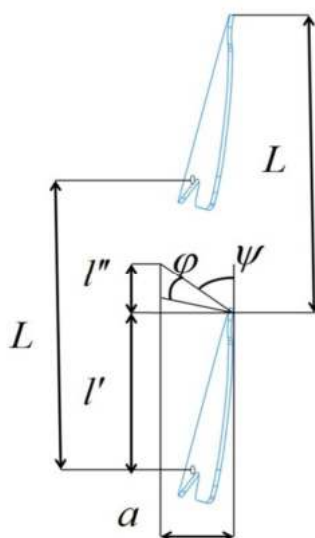


Рисунок 4 – Определение зоны деформации почвы перед рабочим органом в продольном направлении: l' – конструктивный параметр, характеризующий продольный размер (длину) рабочего органа «Скат» (вылет стойки) в проекции на продольно-горизонтальную плоскость, м; l'' – зона деформации почвы в продольном направлении, м; $\beta, \varphi, \rho, \psi$ – углы соответственно крошения, внешнего и внутреннего трения, сдвига (скола) почвы, град

Figure 4 – Determination of the soil deformation zone in front of the working body in the longitudinal direction: – a design parameter characterizing the longitudinal size (length) of the working body "Ramp" (rack extension) projected onto a longitudinally horizontal plane, m; – soil deformation zone in the longitudinal direction, m; – angles of crumbling, external and internal friction, shear (chipping) of the soil, hail

Иными словами, зона деформации почвы, которая расположена сзади рабочего органа «Скат», не должна распространяться до стойки соседнего переднего, относительно направления движения, то есть должно выполняться условие (рисунок 4):

$$L \geq l' + l'' \geq \operatorname{atg} \psi + l' \geq \operatorname{atg} \frac{\beta + \varphi + \rho}{2} + l' \quad (3)$$

где l' – конструктивный параметр, характеризующий продольный размер (длину) рабочего органа «Скат» (вылет стойки) в проекции на продольно-горизонтальную плоскость, м;

l'' – зона деформации почвы в продольном направлении, м;

$\beta, \varphi, \rho, \psi$ – углы соответственно крошения, внешнего и внутреннего трения, сдвига (скола) почвы, град.

Выводы. В результате проведённых исследований установлено, что при поверхностной обработке почвы имеется возможность рассматривать движение рабочих органов тип «Скат», по аналогии с гидродинамическими процессами, как равновесное состояние потока жидкости в трубе, которое приобретает верхний разрушенный слой почвы при постоянной скорости культиватора, определены соотношения, раскрывающие взаимосвязь параметров расстановки рабочего органа «Скат» на раме культиватора, а именно: зона деформации почвы, которая расположена сзади рабочего органа «Скат», не должна распространяться до стойки соседнего переднего края рабочего органа, относительно направления движения.

Расчёты, которые были выполнены в данной работе, показали, что при поверхностной обработке чернозёма обыкновенного, слабогумусного, мощного, легкоглинистого на лессовидных глинах, осуществляемой рабочим органом «Скат» с длиной 0,30 м и шириной 0,45 м, расстановка в поперечном направлении составляет 0,35...0,40 м, в продольном – не менее 0,50 м.

Предложенная расстановка рабочих органов «Скат» на раме культиватора осуществляется по стреловидной схеме, согласно данному положению расстояние между ними в поперечном направлении составляет 0,35...0,40 м, в продольном – не менее 0,50 м.

Conclusions. As a result of the conducted research, it was found that during surface tillage it is possible to consider the movement of working bodies of the "Ramp" type, by analogy with hydrodynamic processes, as an equilibrium state of the liquid flow in the pipe, which acquires the upper destroyed soil layer at a constant speed of the cultivator, the relations revealing the relationship of the parameters of the arrangement of the working body "Ramp" on the the frame of the cultivator, namely: the zone of soil deformation, which is located behind the working body "Ramp", it should not extend to the rack of the adjacent front edge of the working body, relative to the direction of movement.

The calculations that were performed in this work showed that during surface treatment of ordinary low-humus, powerful light clay chernozem on loess-like clays, carried out by the working body "Skat" with a length of 0.30 m and a width of 0.45 m, the arrangement in the transverse direction is 0.35 ...0.40 m, in the longitudinal direction - at least 0.50 m.

With physical and mechanical properties characterized by soil friction. The proposed arrangement of the working bodies of the "Ramp" on the cultivator frame is carried out according to an arrow-shaped scheme, according to this position, the distance between them in the transverse direction is 0.35 ... 0.40 m, in the longitudinal direction – at least 0.50 m. this comes from the dependencies and formulas given in the work.

After the passage of the new working body of the steam cultivator, the content of erosively hazardous dust particles less than 1 mm in size in the upper layer of 0-5 cm of soil decreases by an average of 5.3-5.5% over the entire range of movement speed. The standard lancet paw fulfills agro-technical requirements in terms of changing the content of erosively dangerous dust particles less than 1 mm in size in the upper layer of 0-5 cm of soil only at a speed of 8.0-10.5 km/h.

Библиографический список

1. Мударисов С. Г., Султанов Ш. М. Обоснование рабочей поверхности стрелчатой лапы с изменяемыми параметрами. Достижения науки и техники АПК. 2006. № 8. С. 35-36.
2. Старовойтов С. И., Гринь А. М., Лебедев Д. Е. Об углах универсальной стрелчатой лапы. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3 (55). С. 76-82.
3. Kambulov S. I., Rykov V. B., Shaforostov V. D., Trubilin E. I. Layered Combined Soil Cultivation: Is The Basis Of Resource Saving In Field Cultivation. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. No 5. Pp. 1621-1630.
4. Mudarisov S. G., Gabitov I. I., Lobachevsky Y. P., et al. Modeling the technological process of tillage. Soil & Tillage Research. 2019. V. 190. Pp. 70-77.
5. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Силовой анализ механизмов перемещения рабочих органов почвообрабатывающих машин по заданной траектории. Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 1. С. 47-54.
6. Belousov S. V., Pomelyayko S. A., Novikov V. V. Design of the universal agricultural working body and study of its parameters. MATEC Web of Conferences: 2018 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. ICMTMTE 2018. Sevastopol, 2018. V. 224. P. 05006.
7. Бабицкий Л. Ф., Москалевич В. Ю., Соболевский И. В. Развитие бионического направления в земледельческой механике. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 4 (59). С. 68-74.
8. Belousov S. V., Saprykin E. A., Karmazin I. S. Explanation of the angle of sharpening of a plough cutting working body. E3S Web of Conferences. Sevastopol, 2019. V. 126. P. 00025.
9. Рыков В. Б., Камбулов С. И., Шевченко Н. В. и др. Методические подходы к обоснованию базовых параметров перспективных машинно-технологических агрегатов. Краснодар: Кубанский ГАУ имени И. Т. Трубилина, 2022. 235 с.

10. Parkhomenko G. G., Kambulov S. I., Pakhomov V. I. Calculation of Parameters of the Cultivator's Working Body Based on Bionic Shaping. Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022): Agricultural Cyber-Physical Systems. Zug: Springer Cham, 2024. V. 733-1. Pp. 1071-1078.

11. Рыков В. Б., Камбулов С. И., Шевченко Н. В., Белоусов С. В. Совершенствование технологических процессов и технических средств для полеводства. Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2023. 262 с.

12. Рыков В. Б., Камбулов С. И., Семенихина Ю. А., Белоусов С. В. Машинные технологии и технические средства возделывания озимой пшеницы. Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2024. 251 с.

References

1. Mudarisov S. G., Sultanov Sh. M. Justification of the working surface of a pointed paw with variable parameters. Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. 2006. No 8. Pp. 35-36.

2. Starovoitov S. I., Grin A.M., Lebedev D. E. On the angles of the universal pointed paw. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2016. No 3 (55). Pp. 76-82.

3. Kambulov S. I., Rykov V. B., Shaforostov V. D., Trubilin E. I. Layered Combined Soil Cultivation: Is The Basis Of Resource Saving In Field Cultivation. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. No 5. Pp. 1621-1630.

4. Mudarisov S. G., Gabitov I. I., Lobachevsky Y. P., et al. Modeling the technological process of tillage. Soil & Tillage Research. 2019. V. 190. Pp. 70-77.

5. Parkhomenko G. G., Parkhomenko S. G. Power analysis of the mechanisms of movement of working bodies of tillage machines along a given trajectory. Tractors and agricultural machines. 2018. No 1. Pp. 47-54.

6. Belousov S. V., Pomelyayko S. A., Novikov V. V. Design of the universal agricultural working body and study of its parameters. MATEC Web of Conferences: 2018 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. ICMTMTE 2018. Sevastopol, 2018. V. 224. P. 05006.

7. Babitsky L. F., Moskalevich V. Yu., Sobolevsky I. V. Development of the bionic direction in agricultural mechanics. Agrarian science of the Euro-North-East. 2017. No 4 (59). Pp. 68-74.

8. Belousov S. V., Saprykin E. A., Karmazin I. S. Explanation of the angle of sharpening of a plough cutting working body. E3S Web of Conferences. Sevastopol, 2019. V. 126. P. 00025.

9. Rykov V. B., Kambulov S. I., Shevchenko N. V., et al. Methodological approaches to the justification of the basic parameters of promising machine and technological units. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, 2022. 235 p.

10. Parkhomenko G. G., Kambulov S. I., Pakhomov V. I. Calculation of Parameters of the Cultivator's Working Body Based on Bionic Shaping. Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022): Agricultural Cyber-Physical Systems. Zug: Springer Cham, 2024. V. 733-1. Pp. 1071-1078.

11. Rykov V. B., Kambulov S. I., Shevchenko N. V., Belousov S. V. Improvement of technological processes and technical means for field farming. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, 2023. 262 p.

12. Rykov V. B., Kambulov S. I., Semeniikhina Y. A., Belousov S. V. Machine Technologies and Technical Means of Winter Wheat Cultivation. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2024. 251 p.

Информация об авторах

Пархоменко Галина Геннадьевна, ведущий научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства, кандидат технических наук, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, д. 3), <https://www.orcid-ru.org/0000-0003-0563-8639>, e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

Камбулов Сергей Иванович, главный научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства, доктор технических наук, доцент, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», профессор кафедры Технологии и оборудование переработки продукции АПК, ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет (Российская Федерация, 347740, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, д. 1), <https://www.orcid-ru.org/0000-0001-8712-1478>, e-mail: kambulov.s@mail.ru,

Белоусов Сергей Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессы и машины в агробизнесе», Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), <https://www.orcid-ru.org/0000-0002-8874-9862>, e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru; младший научный сотрудник ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», отдел механизации растениеводства (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, д. 3), e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

Author's information

Parkhomenko Galina Gennadievna, Leading Researcher of the Laboratory of Field Farming Mechanization of the Department of Crop Production Mechanization, Candidate of Engineering Sciences, Agrarian Scientific Center "Donskoy" (Russian Federation, 347740, Rostov Region, Zernograd, Scientific City, 3), <https://www.orcid-ru.org/0000-0003-0563-8639>, e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

Kambulov Sergey Ivanovich, Chief Researcher of the Laboratory of Field Farming Mechanization of the Department of Crop Production Mechanization, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Agrarian Scientific Center "Donskoy", Professor of the Department of Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Technical University (Russian Federation, 347740, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), <https://www.orcid-ru.org/0000-0001-8712-1478>, e-mail: kambulov.s@mail.ru

Belousov Sergey Vitalievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Processes and Machines in Agribusiness, I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Street, 13), <https://www.orcid-ru.org/0000-0002-8874-9862>, e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru; Junior Researcher, Donskoy Agrarian Research Center, Structural Unit of SKNIIMESH, Department of Crop Mechanization (Russian Federation, 347740, Rostov Region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3), e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

DYNAMICS OF WALKING MOVEMENT OF AN EXPERIMENTAL VEHICLE

¹Myasnikov A. S., ²Fomin S. D., ²Vorobyova N. S., ³Zhoga V. V.¹ChPOU "Gazprom College Volgograd named after. I. A. Matlashov"²Volgograd State Agrarian University³Volgograd State Technical University

Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: fsd_58@mail.ru

Received 15.04.2024

Submitted 21.05.2024

Abstract

Introduction. The work examines an experimental vehicle with a combined method of movement – rolling and walking, designed for transporting agricultural goods in field conditions. The choice of movement method depends on the bearing capacity of the supporting surface and the roughness of the terrain. When performing a walking method of movement by a vehicle, the most dangerous stage is the transfer of the first and third moving parts, at the moment of separation from the supporting surface of the movers. The peculiarity of performing walking movement by an experimental vehicle is due to changes in the reactions of the supporting surface between the movers in contact with the ground, as well as the roll angle of the vehicle body, due to changes in the position of the center of mass of the entire structure when performing a "step". The nature of the change in dynamic parameters during the walking method of moving an experimental vehicle is an urgent task, the research results of which are presented in the work for the period of performing one "step". **Object.** The subject of the study is the laws of change in tangential and normal reactions of the supporting surface, as well as the roll angle of an experimental vehicle on soil surfaces such as loam, fine sand, and clay. **Materials and methods.** A mathematical model of machine dynamics when moving over various soils has been developed. The viscoelastic-plastic model was adopted as a soil model. **Results and conclusions.** As a result of numerical experiments, the range of changes in the kinematic parameters of the machine was determined, the characteristics of the redistribution of tangential and normal reactions of the supporting surface were obtained, and the roll angle when performing a "step" by the first moving part of the experimental vehicle on various ground surfaces was determined. Thus, the minimum reaction to the middle moving part was 670 N on a clay soil surface, and the maximum was 880 N on fine sand. The minimum roll angle was $\varphi_2=2.23^\circ$ on fine sand, and the maximum $\varphi_3=2.75^\circ$ on clay soils.

Keywords: experimental vehicles, walking locomotion, support surface reactions, roll angle.

Citation. Myasnikov A. S., Fomin S. D., Vorobyova N. S., Zhoga V. V. Dynamics of walking movement of an experimental vehicle. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 430-440 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-49.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, or 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 631.37

ДИНАМИКА ШАГАЮЩЕГО ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА¹Мясников А. С., преподаватель²Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор²Воробьева Н. С., доктор технических наук, профессор³Жога В. В., доктор физико-математических наук, профессор¹ЧПОУ «Газпром колледж Волгоград им. И. А. Матлашова»²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ³ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается экспериментальное транспортное средство с комбинированным способом передвижения – качением и шаганием, предназначенное для перевозки сельскохозяйственных грузов в полевых условиях. Выбор способа перемещения зависит от несущей способности опорной поверхности и пересеченности местности. При выполнении шагающего способа передвижения транспортным средством наиболее опасным является этап переноса первой и третьей подвижной частей в момент отрыва от опорной поверхности движителей. Особенность выполне-

ния шагающего передвижения экспериментальным транспортным средством обусловлена изменениями реакций опорной поверхности между движителями, находящимися в контакте с грунтом, а также углом крена корпуса машины вследствие изменения положения центра масс всей конструкции при выполнении «шага». Характер изменения динамических параметров при шагающем способе перемещения экспериментального транспортного средства является актуальной задачей, результаты исследования которого представлены в работе за период выполнения одного «шага». **Объект.** Предметом исследования являются законы изменения касательных и нормальных реакций опорной поверхности, а также угол крена экспериментального транспортного средства на грунтовых поверхностях типа суглинков, мелкий песок, глина. **Материалы и методы.** Разработана математическая модель динамики машины при перемещении по различным грунтам. В качестве модели грунта принята вязко-упругопластическая модель. **Результаты и выводы.** В результате численных экспериментов определен диапазон изменения кинематических параметров машины, получены характеристики перераспределения касательных и нормальных реакций опорной поверхности, а также определен угол крена при выполнении «шага» первой подвижной частью экспериментального транспортного средства на различных грунтовых поверхностях. Так, минимальные реакции на среднюю подвижную часть составили 670 Н на глинистой грунтовой поверхности, а максимальные 880 Н на мелком песке. Минимальный угол крена составил $\varphi_2=2,23^\circ$ на мелком песке, а максимальный $\varphi_3=2,75^\circ$ на глинистых грунтах.

Ключевые слова: экспериментальные транспортные средства, шагающее передвижение, реакции опорной поверхности, угол крена.

Цитирование. Мясников А. С., Фомин С. Д., Воробьева Н. С., Жога В. В. Динамика шагающего передвижения экспериментального транспортного средства. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 430-440. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-49.

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. Экспериментальное транспортное средство с комбинированным способом передвижения состоит из следующих сборочных узлов (рисунок 1) [8]: 1- 3 – подвижные части продольного перемещения движителей 4 – вдоль рамы 5; 6 – механизмы продольного перемещения частей 1-3; 7 – механизмы перемещения движителей 4 в вертикальной плоскости; 8 – механизм продольного перемещения кузова и кабины; 9 – источники энергии; 10 – электрический блок; 11 – пульт управления. Принцип перемещения экспериментального транспортного средства подробно изложен в [8, 9].



Рисунок 1 – Общий вид экспериментального транспортного средства
Figure 1 – General view of the experimental vehicle

Модель взаимодействия движителей экспериментального транспортного средства с грунтом является ключевым вопросом при разработке математической модели динамики движения. Тип и состояние почвы определяют сопротивление движению транспортного средства и его тягово-сцепные свойства. Экспериментально установлено, что прямой зависимости между составом почвы и ее сопротивлением движению нет. Механические свойства опорной поверхности определяются физическими, химическими и биологическими факторами. Различное сочетание значений таких параметров почвы, как влажность, механический состав, плотность, структурность, пористость, связность, температура, определяют разнообразие характеров процесса взаимодействия движителя с грунтом, что диктует необходимость использования различных реологических моделей грунта [7, 11].

При контакте движителей экспериментального транспортного средства с грунтом в последнем возникают деформации, величина и характер которых обусловлены действием внешних и внутренних сил, вызывающих относительное смещение частиц. Если после прекращения внешнего воздействия частицы грунта возвращаются в первоначальное положение, то деформация считается упругой. В реальности после снятия нагрузки положение частиц грунта отличается от первоначального, т.е. имеет место остаточная деформация. Если остаточная деформация равна общей деформации, то имеет место пластическая деформация. Реальные грунты не являются чисто упругими или пластичными. При малых нагрузках деформация прямо пропорциональна им, при дальнейшем увеличении нагрузки относительный прирост деформации возрастает, и при какой-то предельной нагрузке происходит увеличение деформации без значительного возрастания нагрузки. Даже при малой нагрузке (после ее снятия) имеют место остаточные деформации.

Метод решения. Расчетная схема транспортного средства для формирования динамической модели приведена на рисунке 2. Введена неподвижная система координат $OXYZ$. Экспериментальное транспортное средство представляется, как двух массовая система абсолютно твердых тел. С каждым телом связана собственная система координат $C_i X_i Y_i$, $i=1, 2$. Начало системы координат $C_2 X_{20}, Y_{20}, Z_2$ в положении, когда деформации опорных движителей равны нулю. Подвижные части 2, 3, рама и кузов с кабиной находятся в покое, а подвижная часть 1 совершает относительное перемещение вдоль рамы.

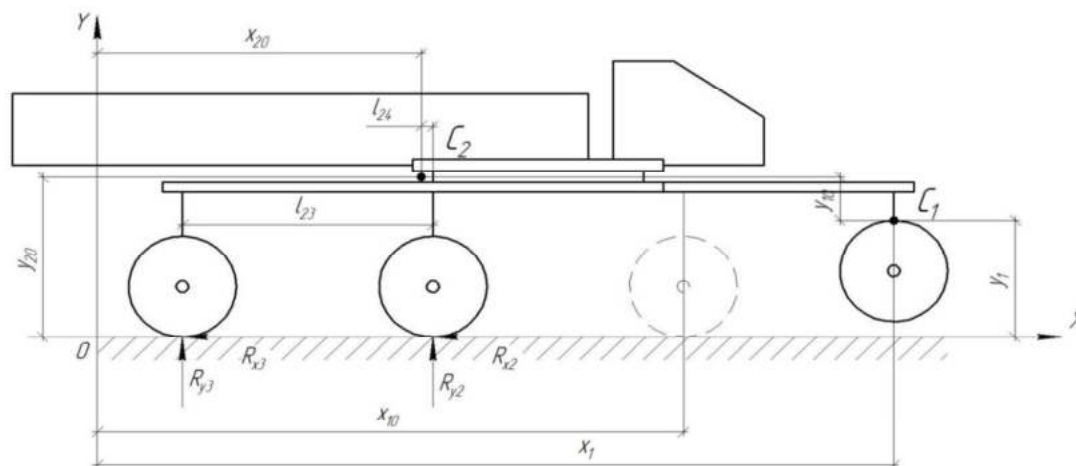


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения реакций опорной поверхности
Figure 2 – Calculation scheme for determining the reactions of the supporting surface

C_1, C_2 – центры масс подвижных частей 1 и 2; OXY – абсолютная система координат; x_1, x_2 – координаты по горизонтали от центров масс C_1, C_2 ; x_{10} – координата по горизонтали начального положения подвижной части; y_1, y_{20} – координаты по вертикали центров масс C_1, C_2 ; y_{10} – координата по вертикали центра масс подвижной части C_1 до C_2 ; l_{23}, l_{24} – конструктивные параметры экспериментального транспортного средства /

C_1, C_2 – centers of mass of moving parts 1 and 2; OXY is an absolute coordinate system; x_1, x_2 – horizontal coordinates from the centers of mass C_1, C_2 ; x_{10} – horizontal coordinate of the initial position of the moving part; y_1, y_{20} – vertical coordinates of the centers of mass C_1, C_2 ; y_{10} is the vertical coordinate of the center of mass of the moving part C_1 to C_2 ; L_{23}, L_{24} – design parameters of the experimental vehicle

Наиболее интересной ситуацией является перенос первой и третьей подвижных частей, во время отрыва от опорной поверхности и переноса их движителей. Механизм переноса всех частей выполнен аналогичен, поэтому рассматривается один из самых характерных случаев – перенос первой подвижной части [1-6, 13, 14]. При расчетах принимается, что части транспортного средства 2, 3 – рама и кузов с кабиной массой m_2 находятся в покое, а подвижная часть 1 массой m_1 , совершает относительное перемещение вдоль рамы по заданному закону.

Для описания динамики движения используется теорема о движении центра масс и теорема об изменении момента количества движения относительно центра масс, которые в проекции на координатные оси выражаются зависимостями [2, 13].

$$M = m_1 + m_2, \quad (1)$$

$$M \cdot \ddot{x}_c = \sum F_{kx}, \quad (2)$$

$$M \cdot \ddot{y}_c = \sum F_{ky}, \quad (3)$$

$$\frac{dK_{zc}}{dt} = \sum M_{zc}^e \quad (4)$$

где m_1, m_2 – массы частей экспериментального транспортного средства; M – масса всей системы; $\ddot{x}_c, \ddot{y}_c$ – проекции ускорения центра масс системы экспериментального транспортного средства; $\sum F_{kx}$ – сумма проекций всех сил на ось X ; $\sum F_{ky}$ – сумма проекций всех сил на ось Y ; $\sum M_{zc}^e$ – сумма моментов всех внешних сил относительно центра масс.

Применительно для экспериментального транспортного средства при выполнении «шага» первой подвижной части уравнения 2, 3 принимают вид

$$M \cdot \ddot{x}_c = R_{x2} + R_{x3}, \quad (5)$$

$$M \cdot \ddot{y}_c = R_{y2} + R_{y3} - M \cdot g, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения; R_{x2}, R_{x3} и R_{y2}, R_{y3} – касательные и нормальные реакции грунта соответственно.

Координаты центра масс системы определяются выражениями

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_{20}}{M}, \quad (7)$$

$$y_c = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_{20}}{M}, \quad (8)$$

Для определения реакций опорной поверхности и угла наклона корпуса машины на различных видах грунтов при передвижении шаганием экспериментального транспортного средства применяется вязко-упруго-пластическая модель грунта.

Для нормальных реакций модель имеет вид [10, 11]:

$$N = c_N \Delta_N + \mu_N \dot{\Delta}_N, \quad (9)$$

где N – нормальная реакция грунта; $\Delta_N, \dot{\Delta}_N$ – деформация и скорость деформации грунта;

c_N – приведенный коэффициент жесткости грунта; μ_N – приведенный коэффициент вязкого сопротивления.

Вычисление опорных реакций по выражению (9) производится до достижения предела текучести грунта, затем наступает пластическое течение, проходящее при силе

$$N = f_N N, \quad (10)$$

где f_N – коэффициент пластического течения.

Для касательных реакций модель записывается в виде [11, 12, 14].

$$T = \begin{cases} c_\tau \Delta_\tau + \mu_\tau \dot{\Delta}_\tau, & \text{при } |T| < T_\Pi, \\ f_{ск} N \text{sign}(\dot{\Delta}_\tau), & \text{при } |T| > T_\Pi, \end{cases} \quad (11)$$

где c_τ , μ_τ , Δ_τ и $\dot{\Delta}_\tau$ имеют тот же смысл, что и для вертикальных реакций; T_Π – сила трения покоя; $f_{ск}$ – коэффициент трения скольжения.

Описанная модель грунта является приближенной, однако ее применение оправдывается не только простотой, но и слабой корреляцией между характером деформирования грунта и большинством анализируемых параметров движения экспериментального транспортного средства.

В соответствии с принятой моделью грунта нормальные реакции опорной поверхности записываются в виде

$$R_{y2} = \begin{cases} -c_2^e (y_2 - y_{20} + l_{24} \cdot \varphi) - \mu_2^e \left(\dot{y}_2 + l_{24} \cdot \dot{\varphi} \right), & \text{если } R_{y2} < f_2^e R_{y2}, \\ f_2^e R_{y2}, & \text{если } R_{y2} \geq f_2^e R_{y2}, \end{cases}$$

$$R_{y3} = \begin{cases} -c_3^e (y_2 - y_{20} + l_{24} \cdot \varphi - l_{23} \cdot \varphi) - \mu_3^e \left(\dot{y}_2 + l_{24} \cdot \dot{\varphi} - l_{23} \cdot \dot{\varphi} \right), & \text{если } R_{y3} < f_3^e R_{y3}, \\ f_3^e R_{y3}, & \text{если } R_{y3} \geq f_3^e R_{y3}, \end{cases} \quad (12)$$

где y_1 , $\dot{y}_1$ – деформация и скорость деформации грунта; c_1^e , c_2^e – коэффициенты жесткости грунта;

μ_1^e , μ_2^e – коэффициенты вязкого сопротивления; f_1^e , f_2^e – коэффициенты пластического течения.

Касательные реакции определяются формулами

$$R_{x2} = \begin{cases} -c_2^e (x_2 - x_{20} + l_{24}) - \mu_2^e (\dot{x}_2), & \text{если } R_{x2} < f_2^e R_{y2}, \\ -f_2^e R_{y2} \text{sign}(\dot{x}_2), & \text{если } R_{x2} \geq f_2^e R_{y2}. \end{cases}$$

$$R_{x3} = \begin{cases} -c_3^e (x_2 - x_{20} + l_{24} + l_{23}) - \mu_3^e (\dot{x}_2), & \text{если } R_{x3} < f_3^e R_{y3}, \\ -f_3^e R_{y3} \text{sign}(\dot{x}_2), & \text{если } R_{x3} \geq f_3^e R_{y3}. \end{cases} \quad (13)$$

Горизонтальное перемещение подвижной части 1 является функцией времени $x_1 = x_{10} + S_1(t)$, которая определяется выражением

$$S_1(t) = [S_1(\tau) - S_1(0)] \cdot \left(10 - 15 \frac{t}{\tau} + 6 \frac{t^2}{\tau^2} \right) \cdot \frac{t^3}{\tau^3}, \quad (14)$$

где $S_1(t)$ – заданный программный закон относительного перемещения подвижной части 1 экспериментального транспортного средства, который удовлетворяет требованиям «мягкого» трогания и касания; τ – время передвижения (выполнения полного шага) подвижной части 1 экспериментального транспортного средства, с [14].

Выполнив дифференцирование выражения (7), подставив в уравнение (5) и заменив реакции выражениями (13) получаем

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + m_2 \cdot \ddot{x}_2 = -c_2^c \cdot x_2 + c_2^c \cdot x_{20} - c_2^c \cdot l_{24} - \mu_2^c \cdot \dot{x}_2 - c_3^c \cdot x_2 + c_3^c x_{20} - c_3^c \cdot l_{24} - c_3^c \cdot l_{23} - \mu_3^c \cdot \dot{x}_2, \quad (15)$$

Коэффициенты жесткости грунта и вязкого трения в направлении оси X для рассматриваемой системы одинаковы, таким образом после преобразования выражение (15) примет вид

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 + 2 \cdot \mu^c \cdot \dot{x}_2 + 2 \cdot c^c \cdot x_2 + c^c (-2 \cdot x_{20} + 2 \cdot l_{24} + l_{23}) + m_1 \cdot \ddot{x}_1 = 0, \quad (16)$$

Выполнив дифференцирование выражения (8), подставив в уравнение (6) и заменив реакции выражениями (12) получим

$$m_1 \cdot \ddot{y}_1 + m_2 \cdot \ddot{y}_2 = -c^c \cdot (y_2 - y_{20} + l_{24} \cdot \varphi) - \mu^c \cdot (\dot{y}_2 + l_{24} \cdot \dot{\varphi}) - c^c \cdot (y_2 - y_{20} + l_{24} \cdot \varphi - l_{23} \cdot \varphi) - \mu^c \cdot (\dot{y}_4 + l_{24} \cdot \dot{\varphi} - l_{23} \cdot \dot{\varphi}) - M \cdot g, \quad (17)$$

Коэффициенты жесткости грунта и вязкого трения в направлении оси Y для рассматриваемой системы одинаковы, таким образом после преобразования выражение (17) примет вид

$$m_1 \cdot \ddot{y}_1 + m_2 \cdot \ddot{y}_2 = -2 \cdot \mu^c \cdot \dot{y}_2 - 2 \cdot c^c \cdot y_2 - \dot{\varphi} \cdot (2 \cdot \mu^c \cdot l_{24} - \mu^c \cdot l_{23}) - \varphi \cdot (2 \cdot c^c \cdot l_{24} - c^c \cdot l_{23}) + 2 \cdot c^c \cdot y_{20} - M \cdot g, \quad (18)$$

Координаты центра масс C_1 от C_2 по оси Y для рассматриваемой системы выражаются формулами

$$y_1 = -y_2 + y_{20} - y_{10} + (x_1 - x_{20}) \cdot \varphi, \quad (19)$$

Дважды продифференцировав выражение 19 получаем зависимость

$$\ddot{y}_1 = -\ddot{y}_2 + \ddot{x}_1 \cdot \varphi + 2 \cdot \dot{x}_1 \cdot \dot{\varphi} + x_1 \cdot \ddot{\varphi} - x_{20} \cdot \ddot{\varphi}, \quad (20)$$

Подставив выражения (20) в уравнение (18) и выполнив преобразования получаем зависимость

$$\ddot{y}_2 \cdot (m_2 - m_1) + 2 \cdot \mu^c \cdot \dot{y}_2 + 2 \cdot c^c \cdot y_2 + \dot{\varphi} \cdot (m_1 \cdot x_1 - m_1 \cdot x_{20}) + \varphi \cdot (2 \cdot \mu^c \cdot l_{24} - \mu^c \cdot l_{23} + 2 \cdot m_1 \cdot \dot{x}_1) + \varphi \cdot (m_1 \cdot \ddot{x}_1 + 2 \cdot c^c \cdot l_{24} - c^c \cdot l_{23}) = M \cdot g - 2 \cdot c^c \cdot y_{20}, \quad (21)$$

Момент количества движения [3] и сумма моментов внешних сил имеют вид

$$K_{zc} = (J_{1c} + J_{2c}) \cdot \dot{\varphi} + m_1 \cdot \dot{x}_1 \cdot (y_c - y_1), \quad (22)$$

$$\sum M_{zc}^e = -R_{y3} \cdot (x_c + l_{24} - l_{23}) - R_{y2} \cdot (x_c + l_{24}), \quad (23)$$

где J_{cz1} , J_{cz2} – центральные моменты инерции частей экспериментального транспортного средства.

Выполнив дифференцирование выражения (22) и подставив в выражение (4), с учетом (23) получаем зависимость

$$(J_{1c} + J_{2c}) \cdot \ddot{\varphi} + m_1 \cdot \ddot{x}_1 \cdot (y_c - y_1) = -R_{y3} \cdot (x_c + l_{24} - l_{23}) - R_{y2} \cdot (x_c + l_{24}). \quad (24)$$

Для определения реакций опорной поверхности и угла крена необходимо найти зависимости $x(t)$, $y(t)$ и $\varphi(t)$. Для определения $x(t)$ необходимо решить уравнение 16 с подстановкой зависимостей из системы 12, а для определения $y(t)$ и $\varphi(t)$ необходимо решить систему из двух уравнений (21), (24) с подстановкой выражений из системы (13). В результате получатся система дифференциальных уравнений, с помощью которой можно исследовать изменение реакций опорной поверхности и угла крена в зависимости от типа грунта. Различные типы грунта моделируются изменением значений соответствующих коэффициентов c , μ , f .

Коэффициенты жесткости определяются по формулам

$$\begin{aligned} c^e &= C_y S, \\ c^e &= C_x S, \end{aligned} \quad (25)$$

где C_y , C_x – коэффициенты упругого сжатия и сдвига; S – площадь пятна контакта движителя с опорной поверхностью, м.

Коэффициенты C_y и C_x определяют по результатам испытаний. При отсутствии экспериментальных данных расчетные значения этих коэффициентов с учетом размеров движителей грунта определяют по формулам [7]

$$\begin{aligned} C_y &= C_0 [1 + P / \Delta S] \sqrt{p / p_0}, \\ C_x &= D_0 [1 + P / \Delta S] \sqrt{p / p_0}, \end{aligned} \quad (26)$$

где C_0 и D_0 – постоянные упругости грунта; P – периметр опоры; $\Delta=1 \text{ м}^{-1}$; p и p_0 – удельное статическое давление на движитель соответственно от конструкции и от штампа, использованного для определения коэффициентов C_0 и D_0 .

Используя значения модулей упругости грунтов (таблица 1), можно коэффициент C_0 рассчитать по приближенной формуле [1, 2]

$$C_0 = 0,021 \cdot E, \quad (27)$$

Коэффициенты C_0 и D_0 связаны зависимостью

$$D_0 = 0,7 \cdot C_0, \quad (28)$$

Удельное статическое давление оказывает существенное влияния на значения коэффициентов жесткости лишь при $p \leq 60 \text{ кПа}$; при $p > 60 \text{ кПа}$ можно считать C_0 и D_0 независимыми от давления. Учитывая значение давления под опорами движителей экспериментального транспортного средства на грунт, сомножителем $\sqrt{p / p_0}$ в формуле (26) можно пренебречь.

Таблица 1 – Значения модулей упругости для различных грунтов [7]
Table 1 – Elastic modulus values for different soils [7]

Виды грунтов / Types of soils	Модуль упругости E , МПа / Modulus of elasticity E , МПа
Супесь / Sandy loam	1500-4500
Мелкий песок / Fine sand	2400-3700
Глина / Clay	1100-2800

Определение значений коэффициентов вязкого сопротивления производятся по формулам [7]

$$\mu^6 = B_y \cdot S$$

$$\mu^2 = B_x \cdot S, \quad (29)$$

где B_y и B_x – коэффициенты удельного вязкого сопротивления при сжатии и сдвиге, которые связаны с коэффициентом упругого сжатия соотношениями

$$\begin{aligned} B_y &= 0,014 \sqrt{C_y}, \\ B_x &= 0,007 \sqrt{C_x}, \end{aligned} \quad (30)$$

Значения коэффициентов f для определения нормальных и касательных реакций принимаются в соответствии со справочными данными.

Результаты и обсуждение. Проведенные по формулам (12), (13), (16), (21) и (24) исследования характера изменения реакций опорной поверхности и угла крена на различных грунтах при перемещении шагающим способом перемещения транспортного средства (рисунок 1, 2) позволили:

- получить зависимости изменения касательных реакций опорной поверхности R_{x2} , R_{x3} на грунте типа суглинок. Значения реакций изменяются в интервале 3,5-3,94 Н (рисунок 3);

- получить зависимости изменения угла крена на различных грунтах при перемещении шагающим способом экспериментального транспортного средства (рисунок 4). Максимальный угол наклона наблюдается на глинистых грунтах $\varphi_3=2,75^\circ$, а минимальный на мелком песке $\varphi_2=2,23^\circ$, в свою очередь на суглинистых грунтах угол наклона составил $\varphi_1=2,52^\circ$;

- определить зависимость изменения нормальных реакций опорной поверхности на различных грунтах при перемещении шагающим способом экспериментального транспортного средства (рисунок 5). Реакции опорной поверхности перераспределяются между движителями, находящимися в контакте с опорной поверхностью (рисунок 1, 2), причем нагрузка на движители средней оси R_{y21} , R_{y22} , R_{y23} возрастает, а крайней задней оси R_{y31} , R_{y32} , R_{y33} снижается. В свою очередь при работе на различных грунтах реакции опорной поверхности изменяются, так из рассмотренных в исследовании грунтов максимальные реакции на средней оси наблюдаются на мелком песке $R_{y22}=880$ Н, а минимальные на глинистом грунте $R_{y22}=670$ Н. На крайней задней оси максимальные реакции опорной поверхности на глинистых основаниях $R_{y33}=395$ Н, а минимальные на мелком песке $R_{y32}=350$ Н.

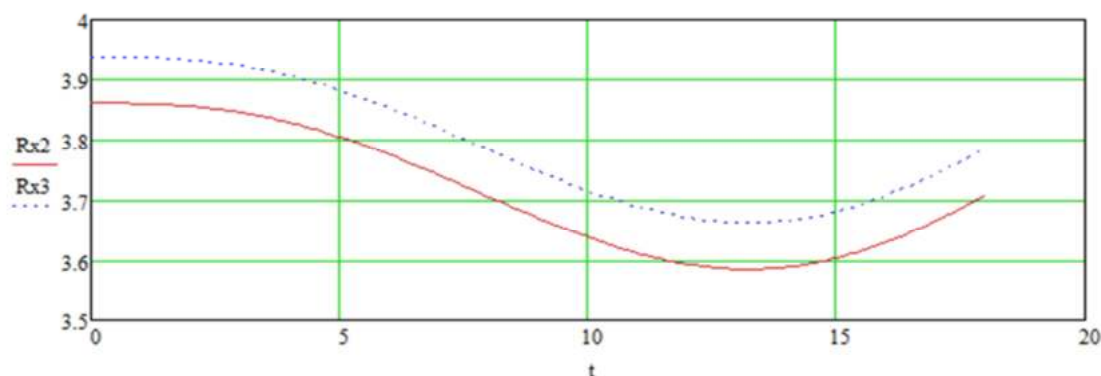


Рисунок 3 – Зависимость касательных реакций R_{x2} , R_{x3} (Н) опорной поверхности на грунте суглинок при перемещении шагающим способом экспериментального транспортного средства

Figure 3 – Dependence of tangential reactions R_{x2} , R_{x3} (N) of the supporting surface on loam soil when moving the moving an experimental vehicle by walking

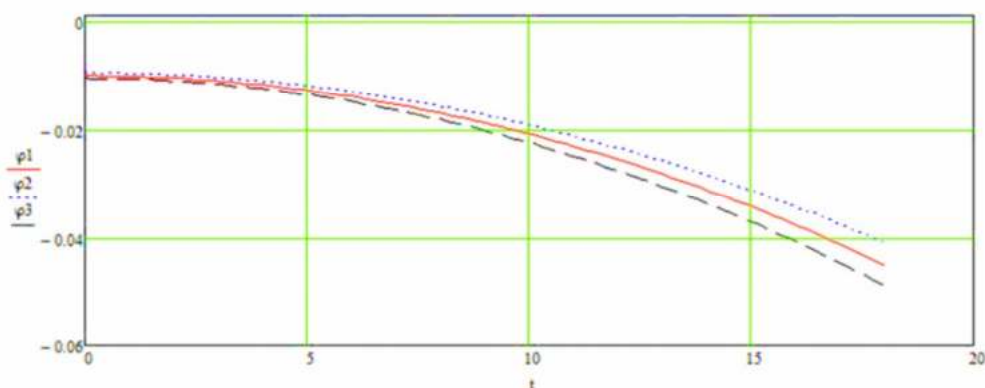


Рисунок 4 – Зависимость углов крена φ_1 , φ_2 , φ_3 (рад) соответственно на грунтах суглинок, мелкий песок, глина при перемещении шагающим способом экспериментального транспортного средства
Figure 4 – Dependence of roll angles φ_1 , φ_2 , φ_3 (rad), respectively, on soils of loam, fine sand, clay when moving the moving of an experimental vehicle in a walking manner

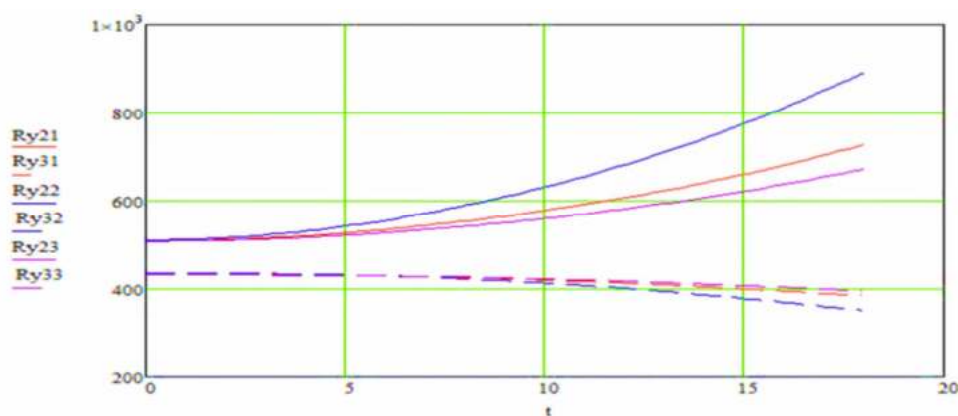


Рисунок 5 – Зависимость нормальных реакций R_{y21} , R_{y31} , R_{y22} , R_{y32} , R_{y23} , R_{y33} (Н) опорной поверхности соответственно по грунтам суглинок, мелкий песок, глина при перемещении шагающим способом экспериментального транспортного средства
Figure 5 – Dependence of normal reactions R_{y21} , R_{y31} , R_{y22} , R_{y32} , R_{y23} , R_{y33} (N) of the supporting surface, respectively, on soils of loam, fine sand, clay when moving the moving an experimental vehicle by walking method

Выводы. Приведенные результаты математических экспериментов позволили определить углы крена (рисунок 4) и реакции опорных поверхностей для некоторых видов грунтов (рисунок 3, 5). Полученная информация показывает, что при шагающем способе передвижения в опорных стойках движителей происходит перераспределение нагрузок и под опорами движителей происходит необратимая деформация опорной поверхности, вследствие чего образуется угол наклона корпуса экспериментального транспортного средства. В рамках исследования установлено, что на различных грунтовых поверхностях угол крена не превышает 3° , что позволяет экспериментальному транспортному средству при использовании технических возможностей механизма продольного передвижения корпуса с кабиной передвигаться шагающим способом без риска опрокидывания при выполнении «шага» (рисунок 4). В свою очередь, в ходе исследований определены нормальные реакции опорных поверхностей – не более 880 Н на две стойки движителя, расположенные по разные стороны бортов экспериментального транспортного средства (рисунок 5). Полученные значения нормальных реакций опорных поверхностей являются основанием при выполнении проектных прочностных расчетов стоек движителей с учетом динамики работы, включая шагающий способ передвижения.

Conclusions. The results of mathematical experiments made it possible to determine the angles of heeling (Figure 4) and the reaction of the supporting surfaces for some types of soils (Figures 3, 5). The information obtained shows that during the walking method of movement in the propeller support legs, there is a redistribution of loads and irreversible deformation of the supporting surface

occurs under the propeller supports, as a result of which the angle of inclination of the body of the experimental vehicle is formed. Within the framework of the study, it was established that on various soil surfaces, the roll angle does not exceed 30, which allows the experimental vehicle, using the technical capabilities of the mechanism of longitudinal movement of the hull with the cab, to move in a walking way without the risk of overturning when performing a "step" (Figure 4). In turn, in the course of the studies, the normal reactions of the supporting surfaces were determined – no more than 880 N per two propeller struts located on opposite sides of the sides of the experimental vehicle (Figure 5). The obtained values of normal reactions of the supporting surfaces are the basis for performing the design strength calculations of the propeller struts, taking into account the dynamics of operation, including the walking method of movement.

Библиографический список

1. Алейников Ю. Г., Дидманидзе О. Н. Моделирование движения опоры шагающей машины с динамической устойчивостью при помощи стенда. Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 1. С. 80-96.
2. Брискин Е. С., Чернышев В. В., Малолетов А. В. Исследование механизма преодоления локальных препятствий мобильными робототехническими системами с шагающими движителями. Мобильные роботы и мехатронные системы: сборник материалов научной школы-конференции. М.: МГУ, 2004. С. 167-179.
3. Градетский В. Г., Князьков М. М., Семенов Е. А., Суханов А. Н. Движение мобильного робота по горизонтальным, наклонным и вертикальным поверхностям при наличии возмущений и подвижных препятствий. Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 3.
4. Дидманидзе О. Н., Митягина Я. Г., Алейников Ю. Г. Методика определения рабочего пространства опоры. Плоды и овощи – основа структуры здорового питания человека. Мичуринск: ОАО "Издательский дом "Мичуринск", 2012. С. 378-380.
5. Дидманидзе О. Н., Митягина Я. Г., Алейников Ю. Г. Особенности применения датчиков в автоматической системе движения шагающих машин. Международный технико-экономический журнал. 2012. № 5. С. 72-75.
6. Дидманидзе О. Н., Митягина Я. Г., Алейников Ю. Г. Принцип перемещения опор шагающих машин во время движения. Плоды и овощи – основа структуры здорового питания человека. Мичуринск: ОАО "Издательский дом "Мичуринск", 2012. С. 381-384.
7. Методические рекомендации по определению динамических свойств грунтов, скальных пород и местных строительных материалов П 01-72.8.
8. Мясников А. С., Фомин С. Д. Повышение проходимости машинно-тракторных агрегатов на основе оптимизации способов передвижения. Перспективные тенденции развития научных исследований по приоритетным направлениям модернизации АПК и сельских территорий в современных социально-экономических условиях: мат. нац. науч.-практич. конф. Волгоград, 2021. Т. 3. С. 451-457.
9. Мясников А. С., Фомин С. Д. Численное моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния конструктивных деталей и сборочных узлов экспериментального транспортного средства с комбинированным способом передвижения для АПК. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 575-587.
10. Фомин С. Д. Математическая модель для исследования неустановившегося криволинейного движения погрузочно-транспортного агрегата. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1 (45). С. 234-245.
11. Чернышев А. С., Губарев С. А. Учет реологических особенностей грунта. Вектор ГеоНаук. 2016. № 1 (1). 3 с.
12. Чернышов В. В., Шаронов Н. Г., Вершинина И. П., Гончаров А. А. Динамика изменения опорных реакций двуногого шагающего движителя на деформируемых грунтах. Электротехнические системы и комплексы. 2013. № 21. С. 145-152.
13. Чернышов В. В., Арыканцев В. В. Моделирование взаимодействия стопы шагающего движителя с водонасыщенными грунтами. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4 (20).
14. Briskin E. S. Walking machines (elements of theory, experience of elaboration, application). Emerging Trends in Mobile Robotics: proc. of the 13th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines. Japan, 2010. Pp. 769-776.

References

1. Aleinikov Y. G., Didmanidze O. N. Simulation of the Motion of a Walking Machine Support with Dynamic Stability Using a Stand. Engineering technologies and systems. 2021. T. 31. № 1. Pp. 80-96.
2. Briskin E. S., Chernyshev V. V., Maloletov A. V. Investigation of the Mechanism for Overcoming Local Obstacles by Mobile Robotic Systems with Walking Propulsion. Mobile Robots and Mechatronic Systems: Collection of Materials of the Scientific School-Conference. Moscow, MGU Publ., 2004. Pp. 167–179.
3. Gradetky V. G., Knyazkov M. M., Semenov E. A., Sukhanov A. N. Motion of a Mobile Robot on Horizontal, Inclined and Vertical Surfaces in the Presence of Perturbations and Movable Obstacles. Mechatronics, automation, control. 2015. V. 16. № 3.
4. Didmanidze O. N., Mityagina Y. G., Aleinikov Y. G. Methods of determining the working space of support. Fruits and vegetables are the basis of the structure of a healthy human diet. Michurinsk: OAO "Publishing House "Michurinsk", 2012. Pp. 378-380.
5. Didmanidze O. N., Mityagina Y. G., Aleinikov Y. G. Features of the Use of Sensors in the Automatic Motion System of Walking Machines. International Technical and Economic Journal. 2012. № 5. Pp. 72-75.
6. Didmanidze O. N., Mityagina Y. G., Aleinikov Y. G. Principle of Movement of Walking Machine Supports during Movement. Fruits and vegetables are the basis of the structure of a healthy human diet. Michurinsk: OAO "Publishing House "Michurinsk", 2012. Pp. 381-384.

7. Methodical recommendations for determining the dynamic properties of soils, rocks and local building materials P 01-72.8.
8. Myasnikov A. S., Fomin S. D. Improving the Cross-Country Ability of Machine-Tractor Units on the Basis of Optimization of Moving Methods. Promising trends in the development of scientific research in priority areas of modernization of the agro-industrial complex and rural areas in modern socio-economic conditions. national. Scientific and Practical Conf. Volgograd, 2021. V. 3. Pp. 451-457.
9. Myasnikov A. S., Fomin S. D. Numerical Modeling and Analysis of the Stress-Strain State of Structural Parts and Assembly Units of an Experimental Vehicle with a Combined Method of Movement for the Agro-Industrial Complex. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 1 (69). Pp. 575-587.
10. Fomin S. D. Mathematical Model for the Study of Unsteady Curvilinear Motion of a Loading and Transport Unit. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2017. № 1 (45). Pp. 234-245.
11. Chernyshev A. S., Gubarev S. A. Taking into account the rheological features of the soil. GeoScience Vector. 2016. № 1 (1). 3 p.
12. Chernyshov V. V., Sharonov N. G., Vershinina I. P., Goncharov A. A. Dynamics of Changes in the Support Reactions of a Bipedal Walking Propulsion on Deformable Soils. Electrotechnical systems and complexes. 2013. № 21. Pp. 145-152.
13. Chernyshov V. V., Arykantsev V. V. Modeling of the Interaction of the Foot of the Walking Propulsion Unit with Water-Saturated Soils. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2015. № 4 (20).
14. Briskin E. S. Walking machines (elements of theory, experience of elaboration, application). Emerging Trends in Mobile Robotics: proc. of the 13th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines. Japan, 2010. Pp. 769-776.

Информация об авторах

Мясников Алексей Сергеевич, преподаватель ЧПОУ «Газпром колледж Волгоград им. И. А. Матлашова» (Российская Федерация, 400011, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 71.), e-mail: Alexey1987M@yandex.ru
Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры "Механика", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: fsd_58@mail.ru
Воробьева Наталья Сергеевна, доктор технических наук, профессор кафедры "Механика", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: vgsha@mail.ru
Жога Виктор Викторович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры "Теоретическая механика", ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28), e-mail: viczhoga@gmail.com

Author's Information

Myasnikov Aleksey Sergeevich, Lecturer, Gazprom College Volgograd named after I. A. Matlashov (Russian Federation, 400011, Volgograd, Universitetsky Ave., 71), e-mail: Alexey1987M@yandex.ru
Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: fsd_58@mail.ru
Vorobyeva Natalya Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vgsha@mail.ru
Zhoga Viktor Viktorovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Theoretical Mechanics, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: viczhoga@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

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

Тютюма Н. В., Айтпаева А. А., Воронов С. И., Булахтина Г. К. Эффективность кормовых севооборотов в условиях Харабалинского и Лиманского районов Астраханской области Tyutyuma N. V., Aitpaeva A. A., Voronov S. I., Bulakhtina G. K. Assessment of the impact of drought and high temperatures on the passage of the main vegetation phases and productivity indicators of oats when applying organic fertilizer based on animal waste	13
Денисов К. Е., Петров Н. Ю., Солодовников А. П., Иванов В. А., Болаев Б. К. Урожайность и водный баланс лука репчатого в Нижневолжском регионе Denisov K. E., Petrov N. Y., Solodovnikov A. P., Ivanov V. A., Bolaev B. K. Yield and water balance of onions in the lower Volga region	23
Капранов В. Н., Зеленева А. В., Киселёв Е. Ф., Тегесов Д. С., Плескачев Н. Ю. Формирование высокопродуктивных агрофитоценозов озимой мягкой пшеницы в Центральном Нечерноземье Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselyov E. F., Tegesov D. S., Pleskachyov N. Yu. Formation of highly productive agrophytocenoses of winter soft wheat in the central non-chernozem region	29
Петров Н. Ю., Кузнецов Ю. В., Ефремова Е. Н., Иванов В. А., Арылов Ю. Н. Зависимость урожайности лука репчатого от водопотребления в Астраханском регионе Petrov N. Yu., Kuznetsov Yu. V., Efremova E. N., Ivanov V. A., Arylov Y. N. Dependence of onion yield on water consumption in the Astrakhan region	40
Федотова А. В., Петров Ю. Н., Зотов Е. С. Зависимость сопротивляемости светло-каштановой почвы водной и ветровой эрозиям от коэффициента ее структурности Fedotova A. V., Petrov Yu. N., Zotov E. S. Dependence of the resistance of light chestnut soil to water and wind erosion on its structural coefficient	44
Айтпаева А. А., Тютюма Н. В., Булахтина Г. К. Корреляционно-регрессионный анализ связи урожайности люцерны с уровнем минерального питания в условиях орошения Aitpaeva A. A., Tyutyuma N. V., Bulahtina G. K. Correlation-regression analysis of the relationship between alfalfa yield and the level of mineral nutrition under irrigation conditions	52
Антимонова О. Н., Сыркина Л. Ф., Антимонов А. К. Питательная ценность кормов из сахарного и зернового сорго в одновидовых и совместных компонентах Antimonova O. N., Syrkina L. F., Antimonov A. K. Nutritional value of sugar and grain sorghum feeds in single-species and joint components	62
Васильева Т. Н., Рябинина З. Н., Иванова Е. А. Эколого-фитоценотическое состояние пойменных лесов в окрестностях города Оренбурга и их рекреационное использование Vasilyeva T. N., Ryabinina Z. N., Ivanova E. A. Ecological and phytocenotic state of floodplain forests in the vicinity of the city of Orenburg and their recreational use	70
Гулин А. В., Кигашпаева О. П., Мачулкина В. А., Володина С. А. Подбор сортов томатов селекции института для ритмичного снабжения рынка свежей продукцией Gulin A. V., Kigashpayeva O. P., Machulkina V. A., Volodina S. A. Selection of tomato varieties of the institute's selection for rhythmic supply of fresh produce to the market	81
Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С. Влияние подкормок на развитие и продуктивность хлопчатника (<i>Gossypium hirsutum</i> L.) при выращивании рассадным методом Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S. The effect of fertilization on the development and productivity of cotton (<i>Gossypium hirsutum</i> L.) when growing by the seedling method.....	88

Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Влияние способов уборки на посевные качества и внутреннюю микрофлору сорго зернового	
Kincharova M. N., Matvienko E. V. The influence of harvesting methods on seeding qualities and internal microflora of grain sorghum	96
Скороходов В. Ю., Зенкова Н. А., Скороходова Е. Н. Влияние различных видов пара на влагозапасы и плотность почвы в условиях степной зоны Южного Урала	
Skorokhodov V. Yu., Zenkova N. A., Skorokhodova E. N. The influence of different types of fallow on moisture reserves and soil density in the steppe zone of the Southern Urals	104
Тарбаев В. А. Закономерности водопотребления яровой пшеницы под влиянием мелиораций в сухостепном Заволжье	
Tarbaev V. A. Regularities of water consumption of spring wheat under the influence of melioration in the dry-steppe trans-Volga region	112
Тимошенко Е. С., Руцкая В. И. Возможность использования отечественных сортов люпина для производства бобовой пасты	
Timoshenko E. S., Rutskeya V. I. The possibility of using domestic varieties of lupine for the production of bean paste	122
Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Сапронова Д. В., Киселёва А. В. Биоэкологический мониторинг за представителями рода <i>Acer</i> L. для прогноза перспективности их использования в искусственных насаждениях	
Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Sapronova D. V., Kiselyova A. V. Bioecological monitoring of representatives of the genus <i>Acer</i> L. for forecasting the prospects of their use in artificial plantations	130
Шарипова Р. Б., Петров М. В. Оценка особенностей изменения климатических характеристик снежного покрова в Ульяновской области	
Sharipova R. B., Petrov M. V. Assessment of the peculiarities of changes in the climatic characteristics of snow covers in the Ulyanovsk region	140
Шапошникова Ю. В., Коробова Н. А., Коробов А. П., Пучкова Е. В. Изменение основных морфологических признаков растений зернового гороха в результате длительной селекции	
Shaposhnikova Yu. V., Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V. The change in the main morphological signs of grain pea plants as a result of long-term breeding	148
Арчаков Д. И., Турчин Т. Я., Кулакова Е. С. Агроклиматические условия Казанско-Вешенского песчаного массива	
Archakov D. I., Turchin T. Y., Kulakova E. S. Agroclimatic conditions of the Kazan-Veshensky sand massif	156
Боровой С. Е., Комарова О. П., Козенко К. Ю. Концепция цифрового двойника орошаемого агроценоза	
Borovoy S. E., Komarova O. P., Kozenko K. Y. The concept of a digital twin of irrigated agrocenosis	165
Истомин С. А., Хныкин А. С. Геоинформационный анализ агроландшафтов Калачской возвышенности на примере полигона «Солонка»	
Istomin S. A., Khnytskin A. S. Geoinformation analysis of the Kalach upland agricultural landscapes on the example of the "Solonka" research ground	174
Фоменко Н. Г., Жолобова О. О. Изучение факторов, влияющих на индукцию каллусогенеза у <i>Robinia pseudoacacia</i> L. в культуре in vitro	
Fomenko N. G., Zholobova O. O. Study of factors influencing the induction of callusogenesis in <i>Robinia pseudoacacia</i> L. in vitro	185

Хасан М., Кузнецов Е. В.

Исследование водоподпорного сооружения для пропуска наносов на мелиоративных каналах

Hasan M., Kuznetsov Y. V.

Study of a water-retaining structure for the passage of sediments on reclamation canals 194

Абдулаев С. С., Батукаев А. А.

Влияние приемов основной обработки почвы на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в лесостепной зоне Чеченской Республики

Abdulaev S. S., Batukaev A. A.

The influence of basic tillage techniques on the yield and grain quality of winter wheat in the forest-steppe zone of the Chechen Republic 202

Матвеев Ш.

Картографирование современного состояния и структуры агролесоландшафтов юго-востока Ростовской области с использованием данных дистанционного зондирования

Matveev Sh.

Mapping the current state and structure of agroforestry landscapes in the south-east of the Rostov region using remote sensing data 209

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

Гайирбегов Д. Ш., Варакин А. Т., Симонов Г. А., Кулик Д. К., Воронцова Е. С., Ховатов Н. Э.

Изменение состава молока свиноматок первого опороса во взаимосвязи с биологической ценностью рационов

Gayirbegov D. Sh., Varakin A. T., Simonov G. A., Kulik D. K., Vorontsova E. S., Khovатов N. E.

Changes in the composition of milk of sows in the first survey in relationship with the biological value of diets 217

Николаев С. И., Дронов Р. Н., Карапетян А. К., Даниленко И. Ю., Чехранова С. В., Шкаленко В. В.

Использование белкового концентрата «Агро-Матик» в кормлении молодняк кур

Nikolaev S. I., Dronov R. N., Karapetyan A. K., Danilenko I. Yu., Chekhranova S. V., Shkalenko V. V.

Use of protein concentrate "Agro-Matic" in feeding young chickens 223

Скоков Р. Ю., Ранделин Д. А., Соловьев А. В., Томиленко К. А.

Оценка эффективности тростника южного в кормах для карпа, выращиваемого в установках замкнутого водоснабжения

Skokov R. Yu., Randelin D. A., Soloviev A. V., Tomilenko K. A.

Evaluation of the effectiveness of southern reed in fodder for carp grown in recirculating water supply installations 231

Абрамов С. В., Горлов И. Ф., Калинина Н. В., Сложенкина М. И., Мосолов А. А., Орехова М. А.

Продуктивные характеристики цыплят-бройлеров при включении в рацион новой фитопребиотической кормовой добавки

Abramov S. V., Gorlov I. F., Kalinina N. V., Slozhenkina M. I., Mosolov A. A., Orekhova M. A.

Productive characteristics of broiler chickens with a new phytoprebiotic feed additive included in the diet 241

Шперов А. С., Чамурлиев Н. Г., Шангараев Г. М., Абдулхаликов А. М.

Мясная продуктивность и качество мяса чистопородных и помесных баранчиков

Shperov A. S., Chamurliev N. G., Shangaraev G. M., Abdulkhalikov A. M.

Meat productivity and meat quality of purebred and crossbred lambs..... 250

Кошкина О. А., Денискова Т. Е., Иванникова А. В., Зиновьева Н. А.

Исследование генетической резистентности к скрепи у баранов южной мясной породы

Koshkina O. A., Deniskova T. E., Ivannikova A. V., Zinovieva N. A.

Study of genetic resistance to scrapie in sheep of the southern meat breed..... 257

Брехова С. А., Сложенкина М. И., Абрамов С. В., Балышев А. В., Воронцова Е. С.,

Горлов И. Ф.

Эффективность применения новых лецитинсодержащих кормовых добавок в рационах коров красной степной породы

Brekova S. A., Slozhenkina M. I., Abramov S. V., Balyshov A. V., Vorontsova E. S., Gorlov I. F.

Efficiency of using new lecithin-containing feed additives in the diets of red steppe cows 266

- Никипелов В. И., Харзинова В. Р., Волкова В. В., Никипелова А. К., Бардуков Н. В., Грозеску Ю. Н., Зиновьева Н. А.**
Разработка мультилокусной STR-панели и оценка достоверности происхождения аквакультурной стерляди (*Acipenser ruthenus*)
Nikipelov V. I., Kharzinova V. R., Volkova V. V., Nikipelova A. K., Bardukov N. V., Grozescu Yu. N., Zinovieva N. A.
Development of a multilocus STR panel and assessment of the reliability of the origin of the aquaculture sterlet (*Acipenser ruthenus*) 273

- Романова Е. А., Тулинова О. В.**
Поиск желательных генотипов отцов и матерей коров айрширской породы с использованием селекционного индекса
Romanova E. A., Tulinova O. V.
Searching for desirable genotypes of fathers and mothers of ayrshire cows using the breeding index 283

- Абраменко Е. Г., Горлов И. Ф., Комарова З. Б., Рудковская А. В., Мосолов А. А., Сложенкина М. И.**
Эффективность совокупного влияния предынкубационной обработки яиц различного срока хранения на процессы инкубации и ранней подкормки цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» при производстве мяса
Abramenko E. G., Gorlov I. F., Komarova Z. B., Rudkovskaya A. V., Mosolov A. A., Slozhenkina M. I.
The effectiveness of the influence of pre-incubation treatment of eggs of different shelf life on the processes of incubation and early feeding of broiler chickens of the Ross-308 cross during meat production 291

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

- Шемякин А. В., Стекольников Ю. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Фомин С. Д., Пухов Е. В., Кутыраев А. А.**
Гальванические покрытия FE-NI-P для восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники и технологического оборудования
Shemyakin A. V., Stekolnikov Yu. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Fomin S. D., Pukhov E. V., Kutyrayev A. A.
FE-NI-P galvanic coatings for restoration of worn parts of agricultural machinery and technological equipment 302

- Аксенов А. Г., Овчаренко А. С., Дмитриев К. С., Кондрахов Д. Д., Волков А. О.**
Цифровой двойник шасси грузового электротранспортного средства сельскохозяйственного назначения
Aksenov A. G., Ovcharenko A. S., Dmitriev K. S., Kondrakhov D. D., Volkov A. O.
Digital twin of the chassis of electric agricultural vehicle 309

- Борисенко И. Б., Роменская О. Н., Сидоров А. Н., Холод А. А., Дадыкина М. С.**
Технологические аспекты опрыскивания при выращивании зерновых колосовых
Borisenko I. B., Romenskaya O. N., Sidorov A. N., Kholod A. A., Dadykina M. S.
Technological aspects of spraying in the cultivation of cereals 321

- Гапич Д. С., Капля Е. В., Черноусов П. С., Гуйбадулин Д. С.**
Динамика стойки культиватора с пружинными предохранителями
Gapich D. S., Kaplya E. V., Chernousov P. S.
Dynamics of the cultivator rack with spring fuses 330

- Григораш О. В., Даус Ю. В., Квитко А. А., Барышев П. М.**
Модульное агрегирование преобразователей электроэнергии мобильных энергосистем
Grigorash O. V., Daus Yu. V., Kvitko A. A., Baryshev P. M.
Modular aggregation of power converters of mobile power systems 339

- Ерёмина Т. В., Шаныгин И. А., Галегузова И. А.**
О перспективных способах повышения безопасности нестационарных электрических машин
Eremina T. V., Shanygin I. A., Galeguzova I. A.
Promising ways to improve safety non-stationary electric machines 349

Ряднов А. И., Меченков В. В., Федоров А. В. Факторы, влияющие на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сенокосомистых материалов в рулонах Ryadnov A. I., Mechenkov V. V., Fedorov A. V. Factors affecting usage figures automated vehicles for loading and transporting hay-straw materials in rolls	357
Фадеев И. В., Успенский И. А., Фомин С. Д., Юхин И. А., Лимаренко Н. В., Филюшин О. В. Электрическая мобильная техника в сельском хозяйстве: проблемы и перспективы Fadeev I. V., Uspensky I. A., Fomin S. D., Yukhin I. A., Limarenko N. V., Filushin O. V. Electric mobile equipment in agriculture: problems and prospects	366
Цепляев А. Н. Применение теории гармонических колебаний в исследованиях секции сеялки при посеве сои с гидрогелем на орошении Tseplyaev A. N. Application of the theory of harmonic oscillations in the research of the seeder section when sowing soybeans with hydrogel on irrigation	376
Юдаев И. В., Степанчук Г. В., Юдин А. А., Гуляев П. В. Параметры рационального воздействия монохроматическим излучением на посевные качества семян огурцов Yudaev I. V., Stepanchuk G. V., Yudin A. A., Gulyaev P. V. Parameters of rational influence of monochromatic radiation on the sowing qualities of cucumber seeds	385
Даус Ю. В., Панченко В. А., Слюсарь М. О. Аналитический обзор типов потерь энергии на фотоэлектрических станциях Daus Yu. V., Panchenko V. A., Slyusar M. O. Analytical review of types of energy losses at photovoltaic power plants	396
Лытов М. Н. Технология освежительных поливов для компенсации воздушной засухи в период укоренения виноградных саженцев Lytov M. N. The technology of refreshing irrigation to compensate for air drought during the rooting period of grape seedlings	404
Малюков С. В., Шавков М. В., Петков А. Ф., Черенков Д. С., Попов М. А., Болгов А. В. Анализ конструкций и технологических параметров чизельных плугов и глубокорыхлителей Malyukov S. V., Shavkov M. V., Petkov A. F., Cherenkov D. S., Popov M. A., Bolgov A. V. Analysis of designs and technological parameters of chisel plows and subsoilers	412
Пархоменко Г. Г., Камбулов С. И., Белоусов С. В. Метод расстановки рабочих органов на основе гидродинамической аналогии на раме культиватора Parkhomenko G. G., Kambulov S. I., Belousov S. V. The method of arrangement of working bodies based on hydrodynamic analogy on the cultivator frame	422
Мясников А. С., Фомин С. Д., Воробьева Н. С., Жога В. В. Динамика шагающего передвижения экспериментального транспортного средства Myasnikov A. S., Fomin S. D., Vorobyova N. S., Zhoga V. V. Dynamics of walking movement of an experimental vehicle	430
СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS	441

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ 2024

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 истолкованным 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 2024**

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 (75), 2024**

Ответственный редактор – *Д. А. Шишлянникова*
Технический редактор – *Т. А. Ситникова*
Компьютерная верстка – *А. В. Харлашин*
Перевод – *Н. В. Тураева*

Реестровая запись: серия ПИ № ФС77-80865 выдано 23.04.2021
Федеральной службой по надзору в сфере 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 28.06.2024.
Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 190.
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 (75), 2024**

Executive editor – *D. A. Shishlyannikova*
Technical editor – *T. A. Sitnikova*
Desktop publishing – *A. V. Kharlashin*
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 28.06.2024.
Edition 1000 (first factory 100). Order 190.
Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price