

ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 4 (72), 2023

Группы специальностей:

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

Волгоград
Волгоградский ГАУ
2023

PROCEEDINGS

OF NIZHNEVOLZSKIY AGROUNIVERSITY COMPLEX:

SCIENCE AND HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

№ 4 (72), 2023

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
2023

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный аграрный
университет

**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485**

№ 4 (72), 2023

Группы специальностей:

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

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**

THE MAGAZINE FOUNDER
Volgograd state
agrarian university

**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485**

№ 4 (72), 2023

Specialty groups:

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

ИЗВЕСТИЯ

Нижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование

№ 4 (72), 2023

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

PROCEEDINGS

of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
science and higher vocational education

№ 4 (72), 2023

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.cnshb.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 (сельско-хозяйственных) наук, профессор, зам. директора по науке, Институт животноводства, г. Белград, Земун (Сербия)

Рулев А.С., академик РАН, гл. науч. сотрудник,
Всероссийский НИИ орошаемого земледелия
<http://www.volsu.ru/struct/institutes/ien/>

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

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

Сулаймонов Б.А., академик АН РУз, доктор биологических наук, ректор Ташкентского государственного аграрного университета, г. Ташкент (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 экономики, Белград (Сербия)
<http://www.ecinst.org.rs/sites/default/files/page-files/dragan-sagovnovic-eng.pdf>

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

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

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

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

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

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

Rulev A.S., Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientific Officer All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия научного журнала

4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Board of the Scientific Journal

4.1. Agronomy, forestry and water management

4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Чамурлиев О.Г., доктор сельскохозяйственных наук, директор НИИ фундаментальных и прикладных агробитехнологий, 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Рулев А.С., академик РАН, гл. научн. сотр. Всероссийский НИИ орошаемого земледелия <http://www.volsu.ru/struct/institutes/ien/>

Rulev A.S., Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientific Officer All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture

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

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

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

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

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

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

4.2. Зоотехния и ветеринария

4.2. Animal science and veterinary medicine

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

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

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

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

Стекольников А.А., академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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. 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

Yatusevich 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

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

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

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

Сложеникина 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

4.2.5. 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

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

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

Чеходарики 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

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

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

Slozhenikina 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

4.2.5 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

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

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

Мосолова Н.И., доктор биологических наук, г.н.с. 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

4.3.3. Пищевые системы (биологические науки)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3.3. Food systems (biological sciences)

Chernukha I.M., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, V. M. Gorbachev 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, И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО AGRONOMY AND FORESTRY

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-01

INTENSIFICATION OF APPLE ORCHARDS IN THE VOLGA-DON INTERFLUVE REGION

V. N. Shchedrin¹, L. N. Medvedeva^{2,3}, A. A. Kupriyanov²

¹All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A. N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation

²All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the All-Russian Research Institute
of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov

³Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: milena.medvedeva2012@yandex.ru

Received 19.09.2023

Submitted 27.11.2023

The studies were carried out as part of the implementation of state assignments FNFR-2022-0006 "Develop economic and mathematical models of sustainable functioning highly productive ecologically balanced irrigated agricultural landscapes"; FNFR-2022-0005 "Develop using new scientific knowledge resource-efficient technologies for irrigating crops that meet the requirements for implementing their productivity and Ecological Sustainability of Reclaimed Landscapes in Conditions of Increasing Aridization of the Climate", All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov" (Volgograd)

Summary

The article examines the conditions for the development of horticulture in Russia, in the Volga-Don interfluvium. The results of the research showed that the development of super-intensive gardens on dwarf rootstocks using a drip irrigation system and natural stimulants is becoming promising. State support and private investment contribute to the development of apple horticulture and import substitution.

Abstract

Introduction. The relevance of the study is related to the substantiation of the intensification of horticulture at the federal and regional levels in ensuring Food Security of the Russian Federation. The purpose of the study was to develop scientific approaches to the development of intensive gardens in the Volga-Don interfluvium area. **Materials and methods.** The evidence base of the study included scientific materials indexed in the citation and analytical databases RSCI, RSCI, Web of Science and SCOPUS; the results of many years of research conducted by VNIIOZ – a branch of the Federal State Budgetary Institution "FNTs VNIIGiM named after. A.N. Kostyakov" (Volgograd), field expeditions in 2022-2023. To determine the optimal conditions for watering and caring for garden trees, the author's methods were used. **Object.** Fruit plantations in the Volga-Don interfluvium zone and intensive apple orchards managed by the Don branch of the National Food Group "Gardens of the Don region" LLC (Volgograd region). **Results.** It is shown that the Volga-Don interfluvium is a very promising area for the intensification of industrial horticulture and the formation of a new type of agricultural landscape. Acceptable technologies for planting intensive gardens are line-compacted and trellis-dwarf with a planting density of more than 2000 trees per 1 hectare. The highest productivity of intensive apple orchards (more than 50.0 t/ha) is ensured by maintaining pre-irrigation soil moisture at the level of 85 – 90% HB, spending up to 12 l/h under pressure within 0.1-0.6 MPa using drip irrigation. The costs of planting gardens are economically justified: intensive type – 400-600 thousand rubles, super-

intensive – 800-1000 thousand rubles. **Conclusions.** The Volga-Don interfluvium is a very promising area for the development of a new type of agricultural landscape associated with the intensification of industrial gardening. The development of industrial gardens requires: the presence of your own planting base (nursery), the formation of gardens adaptive to natural and climatic conditions on the principles of intensive care and regular monitoring, the use of digital technologies with the development of automated watering and tree care systems. Based on the experience gained in the company LLC NPG "Gardens of Pridonya", the main factors for the intensification of horticulture in the Volga-Don interfluvium, optimal conditions for the care and watering of apple orchards (drip irrigation using natural stimulants) were identified. The intensification of industrial horticulture, with a planned output per unit area, requires a multi-factor approach and further development of a public-private partnership mechanism.

Key words: *development of gardening, intensive gardens, drip irrigation of gardens, moisture contours, biostimulants of plant growth, smart technologies.*

Citation. Shchedrin V. N., Medvedeva L. N., Kupriyanov A. A. Intensification of apple orchards in the Volga-Don interfluvium region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 13-28 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-01.

Author's contribution. 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 read and approved the final version submitted. The authors express their gratitude to the employees of the Kalachevsky branch of LLC Gardens of Pridonya. Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

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

УДК 631.1:634.1.047

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЯБЛОНЕВЫХ САДОВ В ВОЛГО-ДОНСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

В. Н. Щедрин¹, академик РАН, доктор технических наук,

Л. Н. Медведева^{2,3}, доктор экономических наук, доцент

А. А. Куприянов², младший научный сотрудник

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Москва, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ
«Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

³ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения государственных заданий FNFR-2022-0006 «Разработать экономико-математические модели устойчиво функционирующих высокопродуктивных экологически сбалансированных орошаемых агроландшафтов», FNFR-2022-0005 «Разработать с использованием новых научных знаний ресурсоэффективные технологии орошения сельскохозяйственных культур, отвечающих требованиям реализации их продуктивности и экологической устойчивости мелиорированных ландшафтов в условиях возрастающей аридизации климата»

Аннотация. Актуальность исследования связана с обоснованием интенсификации садоводства на федеральном и региональном уровне в обеспечении Продовольственной безопасности Российской Федерации. Целью исследования стала разработка научных подходов в развитии интенсивных садов в зоне Волго-Донского междуречья. **Материалы и методы.** В доказательную базу исследования вошли научные материалы, индексируемые в цитатно-аналитических базах данных РИНЦ, RSCI, Web of Science и SCOPUS; результаты многолетних исследований, проводимых ВНИИОЗ – филиалом ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» (Волгоград), полевые экспедиции в 2022-2023 годах. При определении оптималь-

ных условий полива и ухода за садовыми деревьями использовались авторские методики. **Объект исследования.** Плодовые насаждения в зоне Волго-Донского междуречья и интенсивные яблоневые сады, находящиеся в ведении Донского филиала ООО «Национальная продовольственная группа «Сады Придонья» (Волгоградская область). **Результаты.** Показано, что Волго-Донское междуречье является весьма перспективной зоной для интенсификации промышленного садоводства, формирования нового типа агроландшафта. Приемлемой технологией для закладки интенсивных садов являются – строчно-уплотненная и шпалерно-карликовая с плотностью посадки более 2000 деревьев на 1 га. Наибольшая урожайность яблоневых интенсивных садов (более 50,0 т/га) обеспечивается поддержанием предполивной влажности почвы на уровне 85 – 90% НВ, расходом до 12 л/ч под давлением в пределах 0,1-0,6 МПа на капельном поливе. Экономически обоснованы затраты при закладке садов: интенсивного типа – 400-600 тыс руб., суперинтенсивных – 800-1000 тыс руб. **Выводы.** Волго-Донское междуречье является весьма перспективной зоной для развития нового типа агроландшафта, связанного с интенсификацией промышленного садоводства. Для развития промышленных садов требуется: наличие собственной посадочной базы (питомника), формирование адаптивных к природно-климатическим условиям садов на принципах интенсивного ухода и регулярного мониторинга, применение цифровых технологий с разработкой автоматизированных систем полива и ухода за деревьями. На основе опыта, сложившегося в компании ООО НПП «Сады Придонья», были выделены основные факторы интенсификации садоводства в Волго-Донском междуречье, оптимальные условия ухода и полива яблоневых садов (капельный полив с применением природных стимуляторов). Интенсификация промышленного садоводства, с запланированным выходом продукции с единицы площади, требует многофакторного подхода, дальнейшей разработки механизма государственно-частного партнерства.

Ключевые слова: развитие садоводства, интенсивные сады, капельное орошение садов, контуры увлажнения, биостимуляторы роста растений, умные технологии.

Цитирование. Щедрин В. Н., Медведева Л. Н., Куприянов А. А. Интенсификация яблоневых садов в Волго-Донском междуречье. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 13-28. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-01.

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.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Донского филиала ООО «НПП «Сады Придонья».

Введение. Садоводство является одним из важнейших направлений сельского хозяйства, обеспечивающим потребности населения в полноценном и сбалансированном питании [2]. По нормам, утвержденным Минздравом России, на одного человека должно приходиться до 100 кг плодов и ягод, половину из которых должны составлять яблоки. Россия длительное время была крупнейшим импортером яблок: из Молдовы привозилось 246 тыс. т/год (29%), Китая – 129 тыс. т/год (17%). Благодаря мерам государственной поддержки ситуация стала меняться, по данным Плодоовощного союза России к 2030 году отечественное яблоневое садоводство должно полностью заместить импорт (рисунок 1).

Садоводство – весьма затратное направление сельского хозяйства, и для его развития требуется создание определенных условий: наличие питомников с отечественным посадочным материалом; управление фитосанитарным состоянием садов в течение полного года на основе инноваций; формирование адаптивных кварталов интенсивных

садов на основе биосферного мониторинга и информационных технологий, обеспечивающих постоянный контроль за садовыми насаждениями; наличие автоматизированных систем производства и хранения продукции. Интенсификация промышленного садоводства сдерживается рядом объективных причин: продолжительными жизненными циклами вегетационных и производственных процессов; отсутствием широкой линейки машин и оборудования для ухода за садом и уборки урожая; своеобразием отечественного садоводства, продолжающего опираться на агробиологические и агротехнологические приемы XX века, состоянием рынка труда – нехваткой квалифицированных кадров [2]. По экспертным оценкам в России имеется: 70% экстенсивных садов, 20% садов на среднерослых и полукарликовых подвоях, 10% интенсивных садов на карликовых подвоях [6]. К числу явных преимуществ интенсивных садов можно отнести раннее плодоношение (через 2 года после посадки), удобство в уходе. Интенсивные сады не лишены недостатков, к ним можно отнести, наличие слабой корневой системы у деревьев, что увеличивает затраты при поливе и уходе.



Рисунок 1 – Развитие садового плодородства в Российской Федерации, по годам

Figure 1 – Development of fruit growing in the Russian Federation, by years

А – площадь многолетних насаждений, тыс. га;

Б – валовый сбор плодов и ягод, тыс. тонн

Перспективной областью яблоневого промышленного садоводства является Волго-Донское междуречье, расположенное между сформировавшимися речными долинами, имеющее мощный почвенный покров, состоящий из черноземов и каштановых почв [7]. Ретроспективный анализ позволил выделить в междуречье хорошо сформированные агроландшафты, в их числе: растениеводческий, овощеводческий, садовый, лугово-пастбищный, отличающиеся друг от друга степенью и глубиной происходящих изменений (рисунок 2).

Промышленное садоводство Волгоградской области, расположенное в зоне Волго-Донского междуречья, развивается достаточно высокими темпами, по расчетам в 2030 году будет произведено – 85 тыс. т фруктов и ягод. Общая площадь плодовых насаждений превышает 7,1 тыс. га, из них 5 тыс. га садов находятся в плодоносящем возрасте. В 2022 году было заложено 259 га многолетних насаждений, в 2023 году запланировано 150 га. Развитию садоводства способствуют меры государственной поддержки, в числе которых стимулирующие субсидии на закладку и уход за многолетними насаждениями, льготное кредитование, компенсация затрат за мелиоративные мероприятия. Для обеспечения хозяйств и частных лиц посадочным материалом на территории региона начал функционировать питомник мощностью более 500 тыс. саженцев в год. Лидерами садоводческой отрасли являются: ООО НПГ «Сады Придонья», ООО «Волга-Агросоюз», ООО «Плодосовхоз «Михайловский», ЗАО «Пруцковское».



Рисунок 2 – Природно-производственная инфраструктура агроландшафтов
Волго-Донского междуречья

Figure 2 – Natural and production infrastructure of agricultural landscapes
of the Volga-Don interfluvium



Рисунок 3 – Сорта яблонь, возделываемые в ООО НПГ «Сады Придонья», рекомендованные
для выращивания в Волго-Донском междуречье

Figure 3 – Varieties of apple trees cultivated in the "Gardens of Pridonya", recommended
for cultivation in the Volga-Don interfluvium

- А** – сорт Голден Делишес выведен в США, дерево высотой до 3,5 м;
Б – сорт Женева выведен в США, дерево среднерослое с округлой кроной; **В** – сорт Беркутовский выведен на Саратовской опытной станции, дерево среднерослое;
Г – сорт ГАЛА выведен в Новой Зеландии, дерево среднерослое;
Д – сорт Ред Джонапринц выведен в Нидерландах, дерево среднерослое;
Е – сорт Айдаред выведен в США, дерево сильнорослое с округлой кроной;
Ж – сорт Кубанское багряное выведен в Северо-Кавказском НИИ плодоводства, дерево среднерослое; **З** – сорт Северный синап выведен во ВНИИС им. И.В. Мичурина, дерево сильнорослое; **И** – сорт Старкримсон выведен в США, дерево ниже средней величины;
К – сорт Флорина выведен во Франции, дерево среднерослое.

Компания ООО НПГ «Сады Придонья» имеет 3,7 тыс. га интенсивных садов на территории Городищенского, Иловлинского, Калачевского районов Волгоградской области (ООО «НПГ «Сады Придонья». <https://pridonie.ru>). Возделывает более 100 сортов яблоневых деревьев, из которых: 20% – летние, 30% – осенние, 50% – зимние. Наличие собственных питомников площадью 60 га позволяет ежегодно обновлять сортовую базу, высаживать около 1000 тыс. саженцев (рисунок 3).

Целью исследования стала разработка научных подходов в развитии интенсивных садов в зоне Волго-Донского междуречья. Для выполнения поставленной цели были определены следующие задачи:

- проанализировать перспективы развития интенсивных садов;
- изучить условия содержания яблоневых садов в ООО НПГ «Сады Придонья»;
- определить перспективные направления развития интенсивных садов.

Материалы и методы. В теоретическую базу исследования вошли работы известных ученых в области сельского хозяйства, мелиорации и садоводства: Ахмедова А. Д., Борового Е. П., Дубенка Н. Н., Касьяненко А. И., Колесникова В. А., Кружилина И. П., Кучер Д. Е., Овчинникова А. С., Шкуры В. Н., Щедрина В. Н., Ясонида О. Е. и др. Были определены основные факторы развития промышленного садоводства, в их числе: климатические и природные условия, производственно-трудовые, финансово-кредитные ресурсы. Для оценки климатического фактора в промышленном садоводстве применялась формула:

$$CL = \sqrt{(\arctg \frac{Hf-113}{4} + 1,57) \cdot (\arctg \frac{T-6}{2} + 1,57)}, \quad (1)$$

где, CL – интегральный показатель, учитывающий тепло- и влагообеспеченность садового ландшафта; Hf – показатель эффективного увлажнения:

$$Hf = 43,2 \lg O_c - T, \quad (2)$$

где, O_c – среднегодовое количество осадков, мм; T – среднегодовая температура, °C.

Для определения условий развития определенных типов яблоневых садов применялся показатель, рассчитываемый по формуле:

$$ART = e^{-[(\frac{Hf-Hf_0}{DH})^2 + (\frac{T-T_0}{DT})^2]}, \quad (3)$$

где, Hf_0 , DH , T_0 , DT – параметры, определяемые в зависимости от биологических особенностей садовых деревьев; Hf_0 и T_0 – оптимальные условия увлажнения и температуры; DH и DT – диапазон соответствующих условий, приемлемых в растениеводстве.

Для садов Волго-Донского междуречья, расчетный CL составил – 1,29, что указывает на весьма благоприятные условия для развития. Расчетные показатели: «доступная почвенная вода» (AWC), «общее количество доступной влаги в почве» (ТАМ) позволяют определить количество влаги, которую плодовые деревья способны абсорбировать из почвы. Легкодоступная вода, согласно теории Ф. Вейхмайера и А. Хендриксона, представляет собой разницу между содержанием воды при «урожайности поля» (θ_{fc}) и «постоянной точкой увядания» (θ_{pwp}), рассчитывается по формуле [15, 18]:

$$\theta_a = \theta_{fc} - \theta_{pwp} \quad (4)$$

Своевременный полив сада позволяет повысить обильность и длительность плодоношения в 1,5–2 раза. В основу исследования легли работы: Д. Хиллела и Н. Качинского, учитывающие при расчете поливных норм: сорт садового дерева, тип почвы, складывающиеся метеоусловия [4, 16]. Регулярное увлажнение почвы является одним из обязательных условий при уходе за садовыми насаждениями, для этого используются различные системы и схемы.

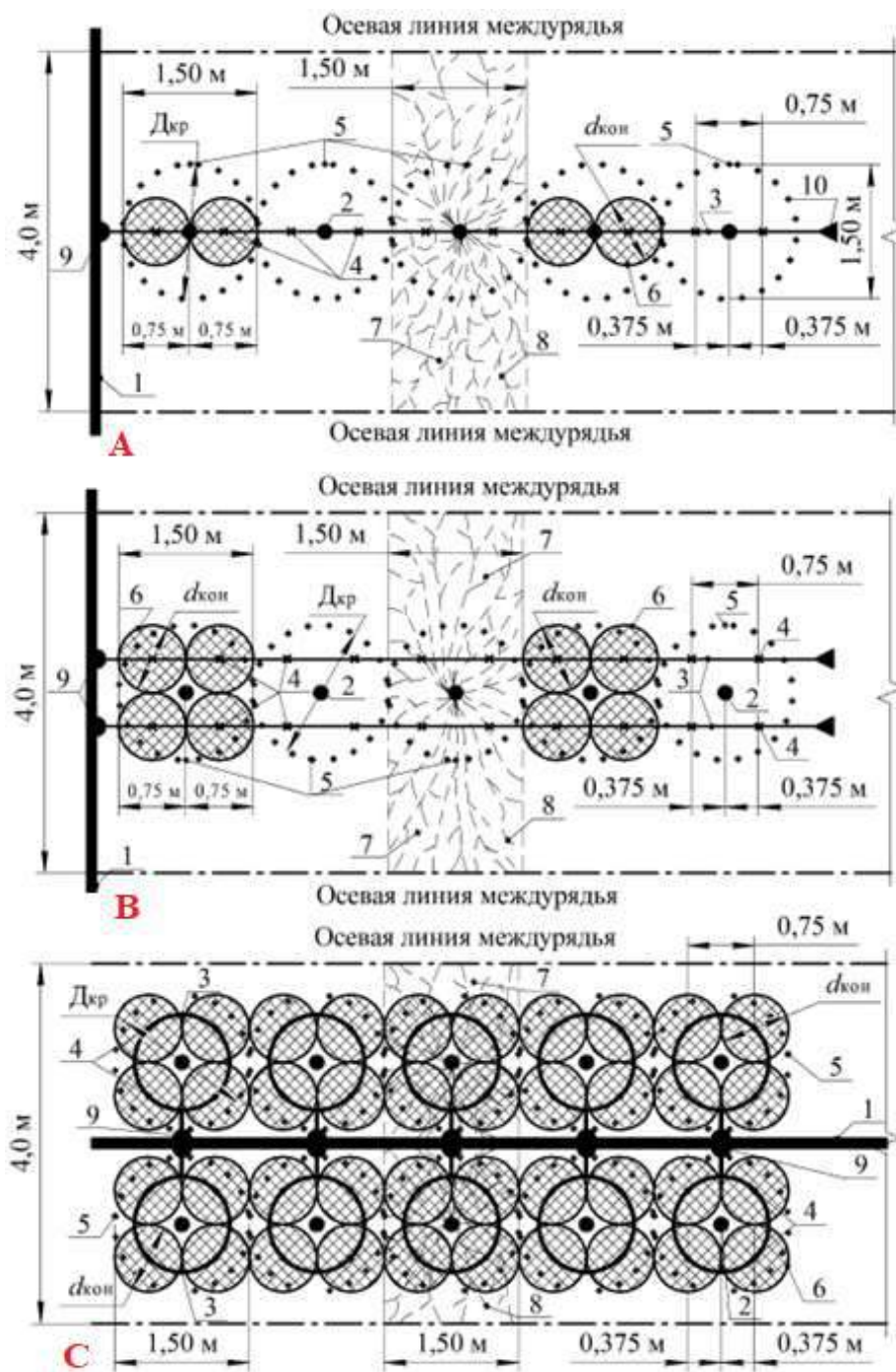


Рисунок 4 – Схемы поливных модулей капельного орошения для садовых насаждений

Figure 4 – Schemes of irrigation modules for drip irrigation for garden plantings

А – схема однониточного поливного модуля; В – схема двухниточного поливного модуля, С – схема кругового поливного модуля; 1 – оросительный трубопровод; 2 – штабб дерева; 3 – поливной трубопровод (поливная линия); 4 – капельница; 5 – очертание кроны дерева; 6 – очертание контура влажности; 7 – зона питания растения; 8 – корневая система растения; 9 – регулятор.

В зависимости от способа полива выделяют: поверхностное затопление прист-
вольного круга, создающее достаточный запас влаги; капельное орошение, когда вода
поступает малыми дозами и постепенно впитывается в почву; дождевание с примене-

нием автоматических установок, создающих распыление в виде дождя [17]. В стандартную базовую комплектацию системы капельного орошения (СКО) входят: водозаборная зона с насосной станцией, фильтростанция (фильтр гравийный и дисковый), узел подготовки с внесением в воду минеральных удобрений и биостимуляторов (гидроподкормщик, инжектор Вентури), магистральный трубопровод, регуляторы давления, вспомогательный трубопровод, клапаны высвобождения воздуха, соединительная и запорная арматура, капельные ленты, контрольно-измерительные приборы. В зависимости от сорта и возраста дерева, климатических и природных условий в садах Волго-Донского междуречья используют следующие модули капельного полива (рисунке 4) [1, 7, 9, 12].

Для расчета эффективности инвестиционных вложений в развитие промышленного садоводства применялись следующие показатели:

Коэффициент использования бюджетных средств (государственная субсидия)	$k_b = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{план}}} \geq 1$
Коэффициент эффективности использования бюджетных средств (государственной субсидии)	$k_{\text{рм}} = \frac{J_t^{\text{факт}}}{F_{fb, \text{млн руб}}} \geq 0,2$
Долевое участие частных инвестиций в создании инфраструктуры садов	$\omega = \frac{I_t^{\text{факт}}}{F_b}$
Доля инвестированного частного капитала, по сравнению с запланируемым	$\omega_t = \frac{I_t^{\text{факт}}}{I_{\text{план}}} \geq 0,7$
Расчетный коэффициент экономического роста	$k_{\text{эр}} = \frac{\text{СДС}(t)}{F_{b(t)}} - \frac{\text{СДС}(t-1)}{F_{b(t-1)}} > 0$

В качестве площадки для проведения полевых исследований был выбран Донской филиал ООО НПГ «Сады Придонья». Яблоневые посадки на карликовом подвое СП-1 и М-9 с прогнозируемой урожайностью от 40 т /га размещены в кварталах: 30 – 50 и 66 – 72. На 1 га площади высажено от 1200 деревьев, с расстоянием между ними – 15 – 20 см. расстоянием между рядами: 3 – 4 м (рисунок 5) (ООО «НПГ «Сады Придонья» <https://pridonie.ru>).



Рисунок 5 – Яблоневые интенсивные сады ООО НПГ «Сады Придонья», Волгоградская область
Figure 5 – Apple intensive orchards "Gardens of Pridonya" LLC, Volgograd region

В кварталах Донского филиала размещаются сорта одного срока созревания, обычно это – сорта Гала и Ред Джонапринц (рисунок 6).



Рисунок 6 – Квартала яблоневых садов Донского филиала ООО НПГ «Сады Придонья», 2023 г
Figure 6 – Quarter of apple orchards of the Don branch of LLC NPG "Gardens of Pridonya", 2023

Важным показателем эффективности садоводства является степень почвенного плодородия, которую можно рассчитать с помощью матрицы потенциалов (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица оценки пригодности земель для возделывания садов

Table 1 – Matrix for assessing the suitability of land for cultivating gardens.

Потенциалы / параметры			
Климатический	Структурный	Топографический	Гидрологический
➤ Среднегодовая температура воздуха ➤ Min / max температура воздуха ➤ Количество осадков ➤ Продолжительность вегетационного периода ➤ Влажность воздуха ➤ Высота снежного покрова	➤ Количество гумуса ➤ Мощность плодородного слоя ➤ Содержание физической глины ➤ Количество токсичных солей ➤ Содержание подвижного азота, фосфора, калия	➤ Шкала уклонов: от 0,5 до 25° ➤ Протяжённость склона ➤ Экспозиция склона ➤ Изрезанность оврагами и балками ➤ Наличие открытых песков	➤ Глубина залегания грунтовых вод ➤ Наличие в воде токсичных солей ➤ Степень дренированности территории ➤ Источник орошения ➤ Поверхностный сток ➤ Гидротермический коэффициент

Анализ почвы, взятый под яблоневыми деревьями, проводился в лаборатории ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова (Волгоград). Было установлено, что почвенный покров достаточно сложный, сформирован выходами почвообразующих пород. Было кластеризовано четыре группы почв: легкосуглинистые, тяжелосуглинистые, среднесуглинистые и пески среднеразвитые (таблица 2).

Таблица 2 – Основные типы почв в садах ООО НПГ «Сады Придонья»

Table 2 – The main types of soils in the gardens of the «Gardens of Pridonya» LLC

Наименование почв	Состав почвы			
	pH водной вытяжки	Гумус, % (по Тюрину)	Содержание, P ₂ O ₅ , мг/100 г	Содержание K ₂ O, мг/100 г
Среднесуглинистая	7,8-8,1	1,42-1,43	2,3-3,6	31,2-49,4
Карбонатная тяжелосуглинистая	8,0-8,1	1,09-1,19	1,9-2,9	39,3-43,7
Карбонатная среднесуглинистая	7,35-8,85	1,1-1,3	2,8-5,4	21,2-23,2
Пески среднеразвитые	7,3-7,8	0,21-0,39	1,6-2,0	55,6

Благоприятными для выращивания яблоневых насаждений являются карбонатные среднесуглинистые почвы, совместимые со среднеразвитыми песками. Светло-каштановые почвы имеют пониженную водопроницаемость, что увеличивает затраты при их обработке. В исследуемых кварталах 30-50 и 66 -72 большинство почв светло-каштановые среднесуглинистые с глубоким залеганием грунтовых вод (7 м), содержанием гумуса (по Тюрину) – 1,73 %, слабощелочной реакцией (рН = 8,0 ед.). Полив деревьев производится с помощью системы капельного орошения: на 1 га посаженных деревьев расходуется до 2 тыс. м капельной трубки, дисковый фильтр, и осуществляется водовыпуск – 1,6 м³/ час. Опыт, накопленный в хозяйстве, и исследования, проведенные во ВНИИОЗ – филиалом ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград), показывают, что для интенсивных садов на карликовых подвоях порог влажности должен поддерживаться на уровне 85 – 90% НВ. При размещении систем капельного орошения важным является определение расстояния между точками водовыпуска, расчет впитывающей способности корнеобитаемого слоя почвы, нормы водопотребления деревьями. В процессе полива в подкапельном пространстве формируется локальный контур увлажнения, который определяет площадь питания дерева, который рассчитывается с помощью линейных, площадных и объемных параметров [1, 6, 8, 10, 12]. В ранних публикациях объем подкапельной зоны определялся по объему параллелепипеда или куба по зависимостям:

$$W_{\text{кон}} = a \cdot b \cdot h_{\text{кон}} \text{ или при } a = b$$

$$W_{\text{кон}} = b^2 \cdot h_{\text{кон}},$$

где, $W_{\text{кон}}$ – объем единичного контура капельного увлажнения почвы, м³; a и b – линейные размеры контура увлажнения в плане (ширина и длина), м; $h_{\text{кон}}$ – глубина зоны увлажнения (промачивания) почвы при капельном поливе, м.

При аппроксимации цилиндрической формы – $W_{\text{кон}}$ м³, определялось по соотношению:

$$W_{\text{кон}} = 0,785 \cdot d_{\text{кон}} \cdot h_{\text{кон}},$$

где, $d_{\text{кон}}$ – диаметр локального контура капельного увлажнения почвы, м.



Рисунок 7 – Организация капельного полива и выделение зон капельного орошения с использованием синего красителя.

Figure 7 – Organization of drip irrigation and drip irrigation zone using blue dye

В последующем в расчетную зависимость вместо значения $d_{\text{кон}}$ стали вводить величину $d_{\text{сред}}$ – среднего по вертикальному увлажняемому профилю почвы диаметра, м, что позволило приблизить расчетный контур к условиям полива. На основе авторской методики (Шкура В. Н., Штанько А. С., Куприянов А. А.) были рассчитаны увлажняемые контуры почвы, а с помощью красящего вещества были подтверждены расчетные данные (рисунки 7,8) [10].

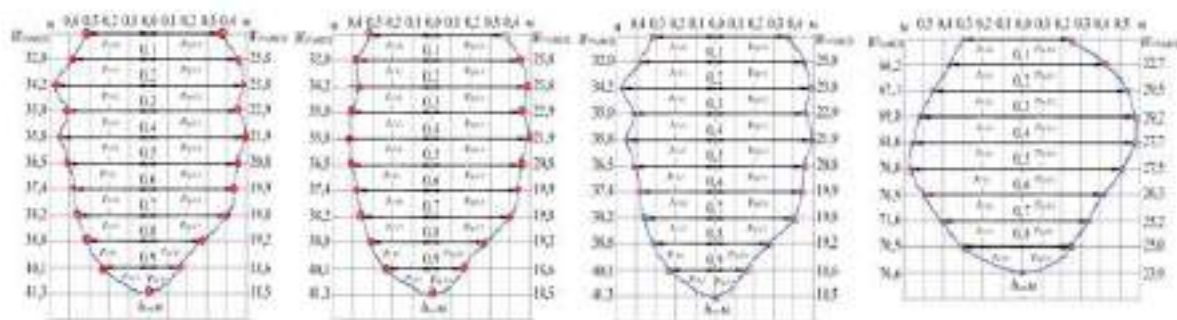


Рисунок 8 – Профили капельного увлажнения почвы под яблоневыми деревьями, 2023 г.

Figure 8 – Soil drip moisture profiles by quarters of apple orchards, 2023

$r_{\text{л}/0,0} - r_{\text{л}/0,9}$ – левосторонние радиусы контуров влажности на глубинах $h_i = 0,0 - 0,9$ м;

$r_{\text{пр}/0,0} - r_{\text{пр}/0,9}$ – правосторонние радиусы контуров влажности на глубинах $h_i = 0,0 - 0,9$ м;

$h_{\text{кон}}$ – глубина увлажняемой зоны

На рисунке 8 первый, второй и третий контур увлажнения относится к деревьям, посаженным в 39 – 50 кварталах интенсивного сада. Средние значения по метровому слою увлажнения светло каштановых почв составили: $\bar{W}_{\text{г}} = 36,9$ % МСП; $\bar{W}_{\text{НВ}} = 21,1$ % МСП; $\bar{\gamma}_{\text{об}} = 1,30$ т/м³; $\bar{g}_{\text{гум}} = 1,4$ %;

Четвертый контур увлажнения относится к деревьям, посаженным в кварталах 66 – 72. Средние значения показателей по метровому слою светло-каштановых почв составили: $\bar{W}_{\text{г}} = 66,0$ % МСП; $\bar{W}_{\text{НВ}} = 27,4$ % МСП; $\bar{\gamma}_{\text{об}} = 1,32$ т/м³; $\bar{g}_{\text{гум}} = 1,7$ %.

Согласно авторской методике [10], по каждому из замеренных участков устанавливались значения: радиуса ($r_{\text{кон}}$), глубины ($h_{\text{кон}}$), средние значения радиусов контуров для разных уравнений заглубленности почвенных слоев, $(r_{\text{кон}})_{h_i}$, среднее значение между левосторонними и правосторонними значениями – $r_{h_i} = 0,5 \cdot (r_{\text{л}/h_i} + r_{\text{пр}/h_i})$. Для математического описания использовалась функциональная связь вида: $r_{h_i}/r_{\text{кон}} = f(h_i/h_{\text{кон}})$, обработка контуров осуществлялась для установления указанных соотношений. Примеры определения значений $r_{h_i}/r_{\text{кон}}$ приведены в таблице 3.

Корреляционно-дисперсным анализом полученного банка данных по функциональной связи $r_{h_i}/r_{\text{кон}} = f(h_i/h_{\text{кон}})$ были установлены зависимости вида:

$$(r)_{h_i}/r_{\text{кон}} = k_0 + k_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right) - k_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^2 + k_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^3 - k_4 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^5 - k_5 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^7 \quad (5)$$

где: $k_0 = 1,164 - 0,269 \cdot (\bar{W}_{\text{г}}/\bar{W}_{\text{НВ}})$; $k_1 = 1,03/k_0^{1,2}$; $k_2 = k_0 + k_1$; $k_3 = 0,254$; $k_4 = 0,200$; $k_5 = 0,054$.

Для почвенных условий таблицы 3 расчетные зависимости представлены ниже:

$$\frac{(r)_{h_i}}{r_{\text{кон}}} = 0,69 + 1,60 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right) - 2,29 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^2 + 0,254 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^3 - 0,200 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^5 - 0,054 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^7 \quad (6)$$

$$\frac{(r)_{h_i}}{r_{\text{кон}}} = 0,47 + 2,53 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right) - 3,00 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^2 + 0,254 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^3 - 0,200 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^5 - 0,054 \cdot \left(\frac{h_i}{h_{\text{кон}}}\right)^7 \quad (7)$$

При известных значениях радиуса ($r_{\text{кон}}$) и глубины ($h_{\text{кон}}$) зависимости позволя-
ют прогнозировать очертания зоны увлажнения и регулировать полив.

Таблица 3 – Результаты определения относительных координат, ограничивающих контуры
влажности изоплет яблоневых садов, 2023 г.

Table 3 – The results of determining the relative coordinates limiting the moisture contours of the
isopleths of apple orchards, 2023

h_i , м	$h_i/h_{\text{кон}}$	$(r_{\text{л}})_{h_i}$, м	$(r_{\text{пр}})_{h_i}$, м	$(r)_{h_i}$, м	$(\bar{r})_{h_i}/r_{\text{кон}}$
1	2	3	4	5	6
для значений: $\bar{W}_{\text{г}}=36,9$ % МСП; $\bar{W}_{\text{нв}}=21,1$ % МСП; $\bar{\gamma}_{\text{об}}=1,30$ т/м ³ ; $\bar{g}_{\text{гум}}=1,4$ %; $h_{\text{кон}}=1,00$ м; $r_{\text{кон}}=0,58$ м					
0,0	0,00	0,31	0,37	0,34	0,71
0,1	0,10	0,39	0,45	0,42	0,88
0,2	0,20	0,47	0,49	0,48	1,00
0,3	0,30	0,41	0,47	0,44	0,92
0,4	0,40	0,44	0,49	0,46	0,96
0,5	0,50	0,41	0,45	0,43	0,90
0,6	0,60	0,38	0,44	0,41	0,85
0,7	0,70	0,36	0,41	0,38	0,79
0,8	0,80	0,31	0,28	0,29	0,60
0,9	0,90	0,23	0,16	0,19	0,40
1,0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Для значений: $\bar{W}_{\text{г}}=66,0$ % МСП; $\bar{W}_{\text{нв}}=27,4$ % МСП; $\bar{\gamma}_{\text{об}}=1,32$ т/м ³ ; $\bar{g}_{\text{гум}}=1,7$ %; $h_{\text{кон}}=1,00$ м; $r_{\text{кон}}=0,69$ м					
0,0	0,00	0,29	0,25	0,27	0,47
0,1	0,11	0,37	0,43	0,40	0,70
0,2	0,22	0,46	0,53	0,50	0,88
0,3	0,33	0,52	0,58	0,55	0,96
0,4	0,44	0,56	0,58	0,57	1,00
0,5	0,56	0,57	0,51	0,54	0,95
0,6	0,67	0,50	0,41	0,45	0,79
0,7	0,78	0,40	0,35	0,37	0,65
0,8	0,89	0,30	0,24	0,27	0,47
0,9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Рассуждения. Научные подходы в развитии промышленного садоводства показы-
вают, что требуется выверенная региональная политика с информационной платформой –
«региональный умный сад», которая позволяла бы рассчитывать перспективные области
развития садоводства и требуемые инвестиции. Для садоводческих организаций умные
технологии позволили бы проводить диагностику функционального состояния плодовых
насаждений по каждому жизненному циклу, обеспечить управление процессом по алго-
ритму: поле – прилавок. Развивающейся технологий должен предложить компаниям тех-
нику для ухода за садами с системой микроскопических сенсоров контактного действия и
лазерно-оптическими сенсорами бесконтактного действия, которые позволили бы контро-
лировать состояние каждого яблоневое дерево, обеспечивая своевременный полив и уход
[5, 11, 14, 15]. За вегетационный период у однолетнего сеянца яблони образовывается до
40 тысяч корней с суммарной длиной в 200 м. Подавляющая часть корней имеет малую
длину до 5 мм (65,0 % от общей массы) и за счет их обеспечивается питание дерева.
Сформированный водный, температурный и пищевой режим создают условия для разви-
тия корневой системы, а недостаток кислорода, компенсируется химическими (Корневин,
Атлет, Этамон Гетероауксин П), природными (настои ивовых веток, дрожжей) вещества-
ми. В число перспективных биостимуляторов для садовых деревьев можно включить мик-

роводоросль *Chlorella vulgaris*, которая содержит широкую гамму физиологически активных веществ (ауксинов, стероидов, витаминов, гиббереллиноподобных веществ) и способна обогащать почву кислородом [14]. Во ВНИИОЗ-филиале ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова (Волгоград) длительное время проводятся исследования по применению микроводоросли *Chlorella vulgaris* в сельском хозяйстве, рассчитаны нормы применению суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в растениеводстве. В таблице 4 представлены расчеты применения природного стимулятора *Chlorella vulgaris* на разных этапах развития плодовых деревьев.

Таблица 4 – Исходные данные разработанной методики применения природного биостимулятора *Chlorella vulgaris* в садоводстве

Table 4 – Initial data of the developed methodology for the use of the natural biostimulant *Chlorella vulgaris* in horticulture

Этап	Рекомендуемые действия	Суспензия штамма <i>Chlorella vulgaris</i> ИФР № С-111
Обработка почвы	0,5 л суспензии на кв. м., 1 раз в месяц	Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i> плотностью клеток 15млн / 1 мл
Замачивание черенков	1 л суспензии на 10 литров воды (15–25°C) на 24 часа	Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i> плотностью клеток 15млн / 1 мл
Опрыскивание	1 л суспензии на 50 литров воды, 2 раза в месяц	Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i> плотностью клеток 15млн / 1 мл
Полив	1 л суспензии на 20 литров воды, 1–2 раза в месяц	Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i> плотностью клеток 15млн / 1 мл
Прикорневая подкормка в фазе цветения и завязи	1 л суспензии на 20 литров воды, 1 раз	Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i> плотностью клеток 15млн / 1 мл
Период созревания плодов	1 л суспензии на 50 литров воды, 2 раза в месяц (опрыскивание или полив)	Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i> плотностью клеток 15млн / 1 мл

Заключение. Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что садоводство как важнейшая отрасль сельского хозяйства обладает рядом существенных особенностей. Сильными сторонами отрасли являются: сравнительно высокий выход продукции с единицы площади многолетних насаждений, особенно интенсивных садов с высокой плотностью посадки, что является предпосылкой получения высокой экономической эффективности; синергетический эффект от увеличения объемов производства на одной площадке (регионе); государственная и инвестиционная поддержка, позволяющая частично снизить капиталоемкость и диверсифицировать риски. В результате проведенного исследования были изучены основные подходы, обеспечивающие интенсификацию промышленного садоводства в Волго-Донском междуречье, выделена роль ООО НПГ «Сады Придонья» в увеличении объемов выпускаемой товарной продукции на плодово-ягодном рынке, внедрении инновационных решений по уходу за садами и квалификации трудового коллектива. Показано, что наибольшая урожайность яблок (55,3 т/га) была получена в интенсивных садах при режиме предполивной влажности почвы на уровне 85-90% НВ и глубиной увлажняемого слоя до 0,6 м. Предложены варианты применения биостимуляторов в интенсивных садах на светло-каштановых почвах. Дальнейшая интенсификация промышленного садоводства через создание виртуальных моделей, позволяющих синхронизировать производственные, технологические, организационные и логистические процессы, позволяет поднять российское садоводство на новый технологический уровень. Исследование позволило выделить в составе Волго-Донского междуречья новый тип агроландшафта – *сетевой агроландшафт интенсивного промышленного садоводства* с ядрами производства и цепочками поставок.

Conclusions. Summarizing the above, we can conclude that horticulture, as the most important branch of agriculture, has a number of significant features. The strengths of the industry are: relatively high yield per unit area of perennial plantings, especially intensive orchards with high planting density, which is a prerequisite for achieving high economic efficiency; synergistic effect from

increasing production volumes on one site (region); government and investment support, allowing to partially reduce capital intensity and diversify risks. As a result of the study, the main approaches were studied to ensure the intensification of industrial horticulture in the Volga-Don interfluvium, the role of LLC NPG "Gardens of the Don Region" in increasing the volume of commercial products on the fruit and berry market, the introduction of innovative solutions for caring for gardens and the qualifications of the workforce was highlighted. It was shown that the highest apple yield (55.3 t/ha) was obtained in intensive orchards with pre-irrigation soil moisture at the level of 85 – 90% HB and a wetted layer depth of up to 0.6 m. Options for the use of biostimulants in intensive orchards were proposed on light chestnut soils. Further intensification of industrial horticulture through the creation of virtual models that allow synchronization of production, technological, manufacturing, organizational and logistics processes allows us to raise Russian horticulture to a new technological level. The study made it possible to identify a new type of agrolandscape within the Volga-Don interfluvium – a network agrolandscape of intensive industrial horticulture with production cores and supply chains.

Библиографический список

1. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3. С. 183-188.
2. Бабушкин В. А., Завражнов А. И., Трунов Ю. В. Промышленное садоводство как управляемая информационно-технологическая система. Достижения науки и техники АПК. 2016. № 7. Т. 30. С. 110-112.
3. Григорьева Л. В., Подковыров И. Ю. Мобилизация запасных питательных веществ у деревьев яблони на светло-каштановых почвах в саду интенсивного типа. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2013. № 4. С. 11-13.
4. Качинский Н. А. О влажности почвы и методах ее изучения. Ленинград: Сельхозгиз, 1930. 75 с.
5. Колесников В. А. Корневая система плодовых и ягодных растений. М.: Колос, 1974. 509 с.
6. Куприянов А. А., Шкура В. Н. Очертание изоплет, ограничивающие контуры капельного увлажнения, формирующиеся в южных среднетяжелых черноземах. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 2. С. 101-108.
7. Мелихов В. В., Фролова М. В., Зибаров А. А., Московец М. В. Экологическая оценка современной биотехнологии улучшения качества поливной воды для агроландшафтов Волго-Донского междуречья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 94-101.
8. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Мещеряков М. П. Методика расчета и обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта. Природообустройство. 2012. № 4. С. 10-14.
9. Бородычев В., Кривоуцкая Н., Кривоуцкий А., Стрижакова Е. Продуктивность яблоневого сада интенсивного типа на капельном орошении. Главный агроном. 2017. № 3. С. 27-32.
10. Шкура В. Н., Штанько А. С. Прогнозирование контуров капельного увлажнения черноземов степного типа почвообразования. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 24–38. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1193>.
11. Удаых О. А., Савкин Н. Л., Сизоненко О. А. Методика планирования затрат по уходу за суперинтенсивным яблоневым садом. Промышленность и сельское хозяйство. 2018. №1. С. 34-39.
12. Ясониди О. Е. Капельное орошение. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с.
13. Fallahi E. Predictions of Quality by Preharvest Fruit and Leaf Mineral Analyses in «Starkspur Golden Delicious». Amer. Hort. Sci. 1985. Vol. 110. Pp. 524-527.
14. Melikhov V. V., Medvedeva L. N., Frolova M. V. Entrepreneurial platform for the development of microalgae biotechnologies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 012002.

15. Neilsen G. H. Response of soil and irrigated fruit trees to fertigation or broadcast application of nitrogen Phosphorus and Potassium. Horttechnology.1999. Vol. 9. Pp. 393-401.

16. Richards L. A., Wadleigh C. H. Soil water and plant growth. Soil Physical Conditions and Plant Growth. American Society of Agronomy Series Monographs. New York: Academic Press, 1952. V. 2. Pp. 74-251.

17. Roiss O., Medvedeva L. Innovation in agriculture – An actor in the development of a green economy. AIP Conference Proceedings. 2022. V. 2650. 030019.

18. Veihmeyer F. J., Hendrickson A. H. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. Proc. 1st Intern. Congr. 1927. Soil Sci. 3. Pp. 498-513.

References

1. Akhmedov A. D., Galiullina E. Yu. Contours of soil moistening during drip irrigation. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2012. № 3. Pp. 183-188.

2. Babushkin V. A., Zavrazhnov A. I., Trunov Yu. V. Industrial gardening as a controlled information and technological system. Achievements in science and technology of the agro-industrial complex. 2016. № 7. V. 30. Pp. 110-112.

3. Grigorieva L. V., Podkovyrov I. Yu. Mobilization of spare nutrients from apple trees on light chestnut soils in an intensive-type garden. Bulletin of Michurin State Agrarian University. 2013. № 4. Pp. 11-13.

4. Kachinsky N. A. On soil moisture and methods of its study. Leningrad: Selkhozgiz, 1930. 75 p.

5. Kolesnikov V. A. The root system of fruit and berry plants. M.: Kolos, 1974. 509 p.

6. Kupriyanov A. A., Shkura V. N. The outline of isopleths, limiting the contours of drip humidification, forming in the southern middle-power chernozems. Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2022. № 2. Pp. 101-108.

7. Melikhov V. V., Frolova M. V., Zibarov A. A., Moskovets M. V. Environmental assessment of modern biotechnology to improve the quality of irrigation water for agroland shafts of the Volga-Donskoy interfluve. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 3 (55). Pp. 94-101.

8. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P. Methodology for calculating and justifying the parameters of the humidification circuit in open and closed soil conditions. Environmental management. 2012. № 4. Pp. 10-14.

9. Borodychev V., Krivolutskaya N., Krivolutsky A., Strizhakova E. Productivity of an intensive apple orchard on drip irrigation. Chief agronomist. 2017. № 3. Pp. 27-32.

10. Shkura V. N., Shtanko A. S. Forecasting the contours of drip humidification of chernozems of the steppe type of soil formation. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems. 2021. T. 11. № 2. Pp. 24-38. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1193>.

11. Udalykh O. A., Savkin N. L., Sizonenko O. A. Cost planning methodology for caring for a super-intensive apple orchard. Industry and agriculture. 2018. № 1. Pp. 34 -39.

12. Yasonidi O. E. Drip irrigation. Novocherkassk: Lik, 2011. 322 p.

13. Fallahi E. Predictions of Quality by Preharvest Fruit and Leaf Mineral Analyses in «Starkspur Golden Delicious». Amer. Hort. Sci. 1985. Vol. 110. Pp. 524-527.

14. Melikhov V. V., Medvedeva L. N., Frolova M. V. Entrepreneurial platform for the development of microalgae biotechnologies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 012002.

15. Neilsen G. H. Response of soil and irrigated fruit trees to fertigation or broadcast application of nitrogen Phosphorus and Potassium. Horttechnology.1999. Vol. 9. Pp. 393-401.

16. Richards L. A., Wadleigh C. H. Soil water and plant growth. Soil Physical Conditions and Plant Growth. American Society of Agronomy Series Monographs. New York: Academic Press, 1952. V. 2. Pp. 74-251.

17. Roiss O., Medvedeva L. Innovation in agriculture – An actor in the development of a green economy. AIP Conference Proceedings. 2022. V. 2650. 030019.

18. Veihmeyer F. J., Hendrickson A. H. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. Proc. 1st Intern. Congr. 1927. Soil Sci. 3. Pp. 498-513.

Информация об авторах

Щедрин Вячеслав Николаевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, научный консультант, ФГБНУ Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, д. 44), ORCID 0000-0002-6170-0014, e-mail: schedrikova@bk.ru

Медведева Людмила Николаевна, доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), ORCID: 0000-0002-3650-2083, e-mail: milena.medvedeva2012@yandex.ru

Куприянов Андрей Александрович, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева д. 9), ORCID: 0000-0001-5129-3497, e-mail: kuprijanov19967@gmail.com

Author's Information

Shchedrin Vyacheslav Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific Consultant, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Reclamation named after A.N. Kostyakov (Russian Federation, 127550, Moscow, B. Akademicheskaya St., 44), ORCID 0000-0002-6170-0014, e-mail: schedrikova@bk.ru

Medvedeva Lyudmila Nikolaevna, Doctor of Economics, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – 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), ORCID: 0000-0002-3650-2083, e-mail: milena.medvedeva2012@ yandex.ru

Kupriyanov Andrey Aleksandrovich, junior researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Reclamation named after A.N. Kostyakov" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), ORCID: 0000-0001-5129-3497, e-mail: kuprijanov19967@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-02

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF SPRING SOFT WHEAT VARIETIES IN THE LOWER VOLGA REGION

A. V. Zelenev¹, O. G. Chamurlijev², I. N. Markova³, P. A. Smutnev³, V. I. Filin²

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

²*Volgograd State Agrarian University*

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

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

Received 20.06.2023

Submitted 21.09.2023

Summary

The article presents the results of comparative evaluation of the adaptive potential of spring wheat varieties by weight of 1000 grains and yield for the dry steppe conditions of the Lower Volga region.

Abstract

Introduction. The basis of crop production is the variety, which largely determines the regional cultivation technology and the quality of cultivated products. **Object.** The subject of the research was spring wheat varieties. **Materials and methods.** A total of 28 varieties were studied in the demonstration nursery: Red-grey – Favorit (St), Ershovskaya 36, Furor, Saratovskaya 68, Ulyanovskaya 100, Voyevoda, Simbircit, Mashenka, South-East 2, Arhat, Eskada 97, Eskada 66, Trizo, Prohorovka, Eskada 70, Margarita, Tambovchanka and whites – Tulaikovskaya golden (St), Albidum 32, Sara-

товская 73, Саратовская 42, Albidum 188, Albidum 29, Саратовская 70, Zinaida, South-East 4, Kamyshinskaya 3, Lebedushka. **Results and conclusions.** The white-grey varieties had a higher 1000-grain weight than the red-grey varieties. The highest score was recorded for the white-green variety Саратовская 73 at 34.9 g. Among the reddish varieties, Simbirchite and Ershovskaya 36 were the best, with 33.6 and 33.7 g, respectively. The best reddish varieties in terms of adaptability, which exceeded one, were Simbirtsit with an adaptability coefficient of 1.06; Voyevoda, 1.07; Ulyanovskaya 100, 1.12; Саратовская 68 and Favorit (St) – 1.15; Furor – 1.25; Ershovskaya 36 – 1.30; of the white-grey varieties Саратовская 70 and Albidum 26 – 1.02; Albidum 188 – 1.04; Саратовская 42 – 1.07; Саратовская 73 – 1.10 and Albidum 32 – 1.12. In terms of adaptability, the red-black varieties outperformed the white-black varieties. The highest yield was that of the red-eye variety Ershovskaya 36 at 1.90 t/ha. The reddish variety Furor also exceeded the standard by 9.0 %. Of the white-grey varieties, Albidum 32 had the highest yield of 1.64 t/ha. Also significantly higher than the standard were the white-grey varieties Саратовская 42 and Саратовская 73 by 33.9 and 34.8 % respectively, Albidum 29 and Albidum 188 by 28.8 %, Саратовская 70 by 27.1 % and Zinaida by 19.5 %.

Key words: weight of 1000 seeds, adaptability of soft wheat, yield of soft wheat, varieties of spring soft wheat, spring soft wheat.

Citation. Zelenev A. V., Chamurliiev O. G., Markova I. N., Smutnev P. A., Filin V. I. Evaluation of the efficiency of spring soft wheat varieties in the Lower Volga region. *Proc. Of the Lower Volga Agro University Comp.* 2023. 4(72). 28-38. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-02.

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 633.111.1:631.526.32 (470.44/47)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

А. В. Зеленов¹, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

О. Г. Чамурлиев², доктор сельскохозяйственных наук

И. Н. Маркова³, кандидат сельскохозяйственных наук, старший агроном-селекционер

П. А. Смутнев³, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий агроном-селекционер

В. И. Филин², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

³Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций

и защитного лесоразведения РАН

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Основой растениеводства считается сорт, который в значительной мере предопределяет региональную технологию выращивания, качество возделываемой продукции.

Объект. Объектом исследований служили сорта яровой мягкой пшеницы. **Материалы и методы.**

В демонстрационном питомнике изучали 28 сортов: краснозёрные – Фаворит (St), Ершовская 36, Фурор, Саратовская 68, Ульяновская 100, Воевода, Симбирцит, Машенька, Юго-Восточная 2, Архат, Эскада 97, Эскада 66, Тризо, Прохоровка, Эскада 70, Маргарита, Тамбовчанка и белозёрные – Тулайковская золотистая (St), Альбидум 32, Саратовская 73, Саратовская 42, Альбидум 188, Альбидум 29, Саратовская 70, Зинаида, Юго-Восточная 4, Камышинская 3, Лебедушка. **Результаты и выводы.** У белозёрных сортов обеспечивалась более высокая масса 1000 зёрен, чем у краснозёрных. Самый высокий показатель отмечался у белозёрного сорта Саратовская 73 – 34,9 г. Среди краснозёрных сортов лучший показатель был у Симбирцита и Ершовской 36, соответственно 33,6 и 33,7 г. Лучшими по адаптивности краснозёрными сортами, которые превышали единицу, были Симбирцит с коэффициентом адаптивности 1,06; Воевода – 1,07; Ульяновская 100 – 1,12; Саратов-

ская 68 и Фаворит (St) – 1,15; Фурор – 1,25; Ершовская 36 – 1,30, из белозёрных – Саратовская 70 и Альбидум 26 – 1,02; Альбидум 188 – 1,04; Саратовская 42 – 1,07; Саратовская 73 – 1,10 и Альбидум 32 – 1,12. По адаптивности красnozёрные сорта превосходили белозёрные. Самой высокой урожайность была у красnozёрного сорта Ершовская 36 – 1,90 т/га. Также превышал стандарт красnozёрный сорт Фурор на 9,0 %. Из белозёрных сортов наибольшую урожайность формировал сорт Альбидум 32 – 1,64 т/га. Также существенно превышали стандарт белозёрные сорта Саратовская 42 и Саратовская 73, соответственно на 33,9 и 34,8 %, Альбидум 29 и Альбидум 188 на 28,8 %, Саратовская 70 на 27,1 %, Зинаида на 19,5 %.

Ключевые слова: масса 1000 семян, адаптивность мягкой пшеницы, урожайность мягкой пшеницы, сорта яровой мягкой пшеницы, яровая мягкая пшеница.

Цитирование. Зеленев А. В., Чамурлиев О. Г., Маркова И. Н., Смутнев П. А., Филин В. И. Оценка эффективности сортов яровой мягкой пшеницы в Нижнем Поволжье. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 28-38. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-02.

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. Структура посевных площадей озимой и яровой пшеницы в Волгоградской области в последнее время претерпела значительные изменения. Расширение площади посева под озимой пшеницей случилось за счет сокращения площади под яровой пшеницей до 1 – 4 %. В начале 1990-х годов на озимую пшеницу приходилось 25 – 35 % посевных площадей, а сейчас они составляют уже 60 – 65 %. Площадь посева озимой пшеницы в 2021 году составляла 1075,7 тыс. га, а в 2022 году – 1657,8 тыс. га, что на 154,1 % больше, чем в предыдущем 2021 году. В свою очередь, яровая пшеница была посеяна на 132,3 тыс. га в 2021 году и 82,7 тыс. га в 2022 году, что на 62,5 % меньше. Напротив, урожайность яровой пшеницы в 2022 году была на 135,8 % выше, чем в 2021 году, и составила 2,35 т/га против 1,73 т/га соответственно. В результате валовой сбор зерна яровой пшеницы в Волгоградской области составил 225,5 тыс. т в 2021 году и 193,0 тыс. т в 2022 году, что на 85,6 % меньше, чем в предыдущем 2021 году [7, 10].

Переменчивость погодных условий в Волгоградской области в сторону засушливости привела к тому, что в сельском хозяйстве произошел сдвиг в сторону выращивания по большей части озимой пшеницы. Смещение количества летних осадков на осень и весну послужило причиной заметного уменьшения урожайности яровой пшеницы, в свою очередь, более высокие зимние температуры сделали озимую пшеницу стабильно устойчивой к перезимовке в зоне сухих степей. Однако в минувшие годы по причине нехватки влаги в почве сроки сева пшеницы озимой были сдвинуты на более позднее время. Помимо этого, к сокращению площади посева озимой пшеницы по сравнению с первоначальным планом в некоторые годы приводят осенние продолжительные дожди. В результате незасеянные и освободившиеся из-за плохой перезимовки озимой пшеницы площади посева в последующем засеваются яровыми культурами, из которых пшеница считается наиболее экономически прибыльной [4, 18].

Основой растениеводства считается сорт, который в значительной мере определяет региональную технологию выращивания, размер, качество и энергоэффективность возделываемой продукции. Пластичность, устойчивость к патогенам и вредителям, выносливость к стрессам окружающей среды, высокий запас урожайности, отличное качество зерна, допустимость выращивания по ресурсосберегающим технологиям представляются важными требованиями к новейшим сортам в современных климатических и экономических реалиях. Противоречивое отношение растений к переменам окружающей среды под генетическим контролем может стать условием для благо-

получного выведения таких сортов. Однако в среднем по регионам урожайность растет очень медленно. За минувшее десятилетие из-за односторонней ориентации на интенсивные сорта урожайность увеличилась исключительно в сельскохозяйственных предприятиях со сверхвысокой степенью развития земледелия. На данный момент устойчивость валового сбора зерна яровой пшеницы в регионе нестабильна [2, 3, 6, 8, 9, 15].

Возможную урожайность сорта помогает определить его адаптивность. Для пшеницы яровой условия сухой степи подходят с точки зрения долготы светового дня, наличия влаги и плодородия почвы. В такой обстановке можно возделывать урожайные сорта с оптимальным содержанием белка. На элементы структуры урожайности оказывают влияние зональные свойства сортов. Благодаря своей адаптивности сорта имеют превосходство в виде повышенной кустистости продуктивных стеблей, озёрнённости колоса и урожайности зерна [5, 11, 14, 16, 17, 19].

Целью исследований было изучение и отбор сортов яровой мягкой пшеницы с набором признаков, обладающих высоким потенциалом урожайности и предельно адаптированных к условиям Нижнего Поволжья.

Материалы и методы. Эксперимент выполняли на опытном поле Камышинского подразделения лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального научного центра агроэкологии РАН в течение 6 лет с 2017 по 2022 годы.

Объектом исследований служили сорта яровой мягкой пшеницы, изучаемые в демонстрационном питомнике.

Почвой опытного участка была каштановая, среднесиловая, тяжелосуглинистая, характерная для зоны сухих степей. Содержание фосфора и азота в обрабатываемом слое 0,11 и 0,06 % соответственно, гумуса – 1,8 – 2,4 %. В опыте изучали 28 сортов яровой мягкой пшеницы с красным и белым цветом зерна следующей селекции: ФНЦ агроэкологии РАН – Фурор, Зинаида, Камышинская 3; ФАНЦ Юго-Востока – Ершовская 36, Фаворит (St), Саратовская 68, Альбидум 32, Саратовская 73, Саратовская 42, Воевода, Альбидум 188, Альбидум 29, Саратовская 70, Юго-Восточная 2, Юго-Восточная 4, Прохоровка, Лебёдушка, Тулайковская золотистая (St); Ульяновский НИИСХ – Ульяновская 100, Симбирцит, Маргарита; Пензенский НИИСХ – Машенька, Архат; Самарский ФИЦ РАН – Эскада 97, Эскада 66, Эскада 70; Тамбовский НИИСХ – Тамбовчанка и DSV, Германия – Тризо.

Яровая пшеница была посеяна в двух повторностях и в двух блоках на участках площадью 25 м². По методике Л.А. Животкова вычисляли коэффициент адаптивности сорта. В соответствии с методикой Государственной комиссии осуществляли контроль за фенологией, отбором снопов, уборкой урожая. С целью установления существенности разности с помощью дисперсионного анализа выполнялась математическая обработка материалов по урожайности.

Обработка почвы с целью обеспечения посева выполнялась на основании агрономической практики зоны. Сначала с осени, после того как убрали предшественник, применялась на глубину 20 – 22 см основная обработка почвы. После этого в два следа ранневесеннее покровное боронование и культивация перед посевом. Сам посев был ранним и выполнялся при физической спелости почвы.

Метеорологические условия в изучаемый период были очень контрастными и варьировались от условно благоприятных – 2014, 2017, 2021, 2022 годы, до засушливых – 2013, 2015, 2018, 2019, 2020 годы, и неблагоприятных – 2016 год.

Результаты и обсуждение. С целью выведения новейших сортов пшеницы мягкой яровой желательно располагать источниками с очень высокой экспрессией массы 1000 зёрен, которая вносит важный вклад в урожайность культуры и влияет на выход муки [13]. Сведения по этому показателю для изучаемых сортов пшеницы яровой с красным и белым цветом зерна за 2017 – 2022 годы представлены на рисунке 1.

Данные рисунка 1 показывают, что в нашем эксперименте масса 1000 зёрен у сортов мягкой пшеницы яровой не была увязана с урожайностью, однако в среднем по годам исследований такая связь между данными признаками в некоторой мере обеспечивалась. Самая высокая средняя масса 1000 зёрен отмечалась в 2017 году как у красnozёрных, так и у белозёрных сортов, соответственно 37,6 и 38,3 г, самая низкая – в 2018 году – 25,4 и 27,0 г соответственно. У красnozёрных сортов в 2019 году этот показатель равнялся 29,5 г, в 2020 году – 32,4 г, в 2021 году – 30,4 г и в 2022 году – 32,3 г, у белозёрных сортов, соответственно 30,8; 33,5; 31,0 и 34,2 г. Следует отметить, что в 2017 году наибольшая масса 1000 зёрен у всех сортов яровой пшеницы приводила к получению самой высокой урожайности культуры. Однако в остальные годы такая зависимость отсутствовала. Особо наглядным выдался 2020 год у красnozёрных сортов, когда высокая масса 1000 зёрен яровой пшеницы, находившаяся на втором месте после лучшего показателя в 2017 году, не способствовала формированию также высокого урожая культуры, который оказался на предпоследнем месте. Самая низкая масса 1000 зёрен для всех сортов в 2018 году также не совпала с самым низкоурожайным 2019 годом.

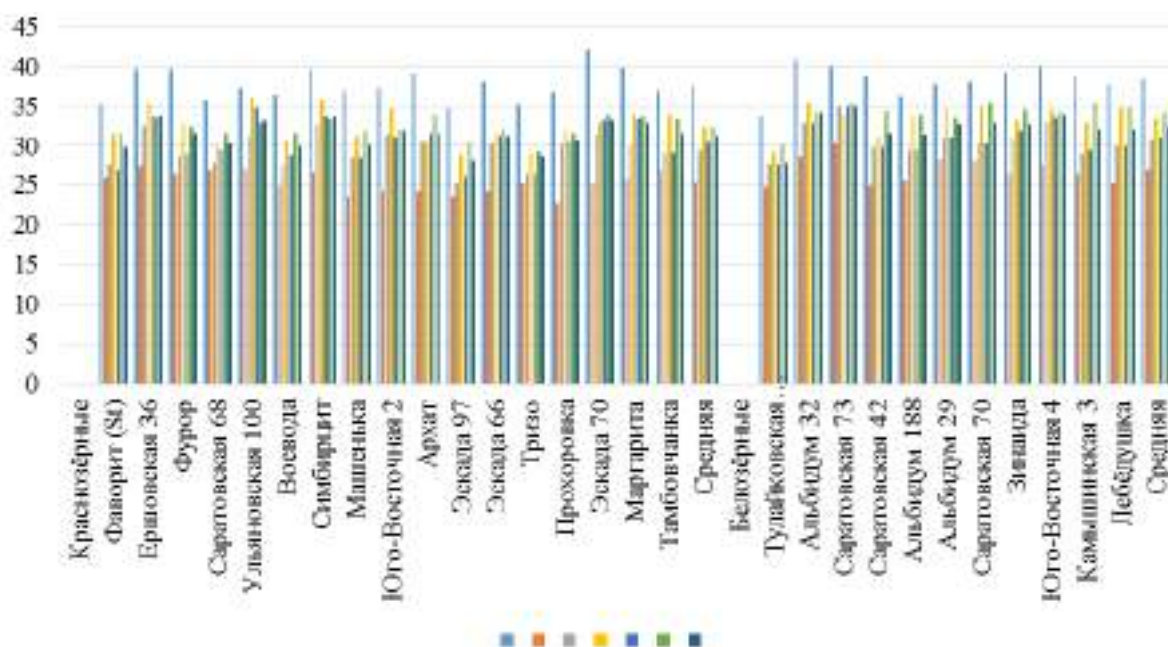


Рисунок 1 – Масса 1000 зёрен у сортов пшеницы мягкой яровой, г
Figure 1 – Weight of 1000 grains in spring wheat varieties, g

В среднем за шесть лет исследований у красnozёрных сортов наблюдалась более низкая масса тысячи зёрен, нежели у белозёрных сортов. Так, самый высокий показатель отмечался у белозёрного сорта Саратовская 73 – 34,9 г, что было выше стандарта Тулайковская золотистая на 7,0 г или 25,1 %. Среди красnozёрных сортов лучший показатель был у Симбирцита и Ершовской 36, соответственно 33,6 и 33,7 г, что было выше стандарта Фаворит на 3,8 и 3,9 г или 12,8 и 13,1 %. Сделаем вывод о том, что погодные условия не всегда оказывают однозначное влияние на урожайность и массу 1000 зёрен.

На выход муки существенное влияние оказывает цвет зерна пшеницы. Как было уже сказано, преимущество по массе 1000 зёрен имели белозёрные сорта как более отселектированные. Помимо уже вышеупомянутого сорта Саратовская 73, высокую массу 1000 зёрен имели сорта Юго-Восточная 4 и Альбидум 32, соответственно 33,8 и 34,1 г, что превышало стандарт Тулайковская золотистая на 5,9 и 6,2 г или 21,2 и 22,2 %. Из красnozёрных сортов следует отметить помимо уже упомянутых Ершовская 36 и Симбирцит ещё и

Эскада 70 и Ульяновская 100, у которых масса 1000 зёрен, соответственно, равнялась 33,1 и 33,2 г, что было выше стандарта Фаворит на 3,3 и 3,4 г или 11,1 и 11,4 %. Эти краснозёрные сорта незначительно уступали по данному показателю белозёрным сортам.

Подбор сортов пшеницы яровой должен располагать четким адаптивным уклоном, особенно в регионах с резко различающимися синоптическими условиями, характерными для Нижнего Поволжья. Местные адаптированные сорта сильнее устойчивы к негативным стрессовым факторам окружающих условий, воздействие которых нередко обуславливает нестабильность урожая до 60-80 %. Поэтому адаптивные свойства сортов не менее важны, чем продуктивные. Коэффициент адаптивности используется для оценки приспособленности сортов к почвенным и климатическим особенностям региона. Сорт устойчив к неблагоприятным погодным условиям и потенциально продуктивен, если коэффициент адаптивности больше единицы [1]. На рис. 2 представлены данные коэффициента адаптивности изучаемых краснозёрных и белозёрных сортов мягкой пшеницы яровой за 2017 – 2022 годы.

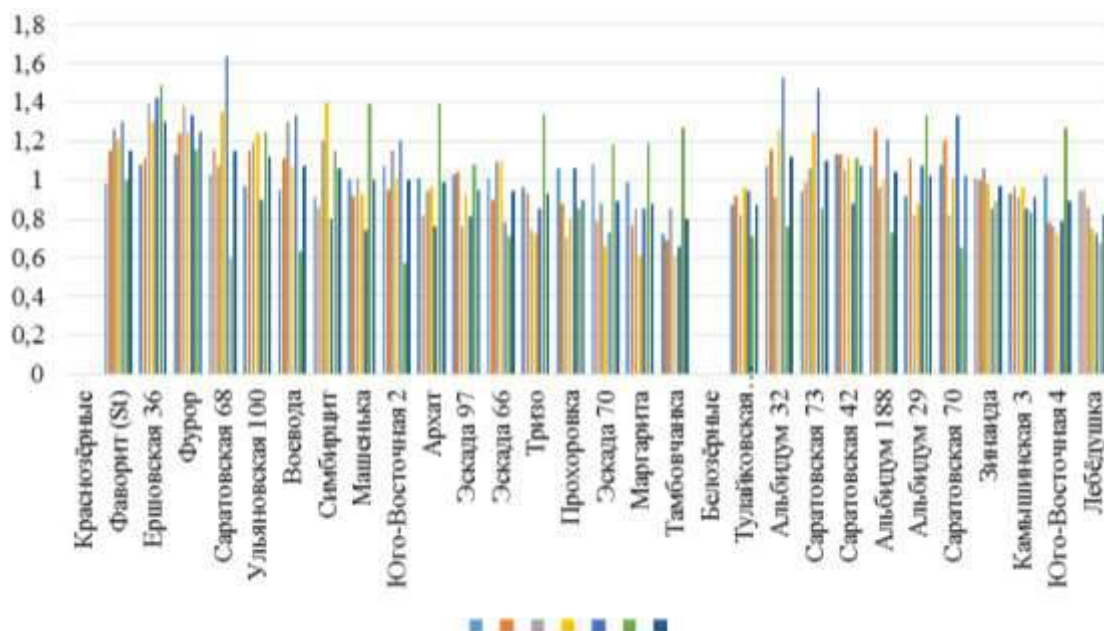


Рисунок 2 – Коэффициент адаптивности сортов мягкой яровой пшеницы
Figure 2 – Adaptability coefficient of soft spring wheat varieties

Данные рисунка 2 показывают, что в среднем за шесть лет исследований лучшими по адаптивности краснозёрными сортами, которые превышали единицу, были Симбирцит с коэффициентом адаптивности 1,06; Воевода – 1,07; Ульяновская 100 – 1,12; Саратовская 68 и Фаворит (St) – 1,15; Фурор – 1,25; Ершовская 36 – 1,30. Причём только Фурор и Ершовская 36 имели коэффициент адаптивности выше стандарта Фаворит, остальные сорта уступали ему. Наименьший коэффициент адаптивности имел сорт Тамбовчанка – 0,80. Из белозёрных наибольший коэффициент адаптивности имели шесть сортов – Саратовская 70 и Альбидум 26 – 1,02; Альбидум 188 – 1,04; Саратовская 42 – 1,07; Саратовская 73 – 1,10 и Альбидум 32 – 1,12, причем все они превысили по адаптивности стандарт Тулайковская золотистая. Наименьший коэффициент адаптивности имел сорт Лебедушка – 0,82. Следует отметить, что по адаптивности краснозёрные сорта пшеницы превосходили белозёрные. Данные адаптации сортов совпадали в основном с их урожайностью, за исключением сортов Симбирцит с коэффициентом адаптивности равным 1,06; Эскада 66 – 0,94 и Камышинская 3 – 0,91. Эти сорта по адаптивности превышали вышестоящие по рейтингу урожайности сорта, что указывает на селекционную ценность этих сортов.

Выполненными экспериментами было определено, что лидерами по урожайности были следующие сорта: в 2013 году – Фаворит, в 2014 году – Ульяновская 100, в 2015 году – Саратовская 68 и в 2016 году – Ершовская 36 [12]. Данные урожайности 17 краснозёрных и 11 белозёрных сортов мягкой пшеницы яровой в среднем за последние шесть лет с 2017 по 2022 годы представлены на рис. 3.

Данные рисунка 3 показывают, что лидерами по урожайности становятся следующие краснозёрные сорта пшеницы мягкой яровой: в 2017 и 2018 годах Фурор – 2,27 и 1,63 т/га соответственно; в 2019 году Фурор и Ершовская 36, соответственно 1,49 и 1,50 т/га; в 2020 году Симбирцит – 1,71 т/га; в 2021 году Саратовская 68 – 2,56 т/га и в 2022 году Ершовская 36 – 2,47 т/га. Среди белозёрных сортов лучшими были: в 2017 году Саратовская 42 с урожайностью равной 2,28 т/га; в 2018 году Альбидум 188 – 1,65 т/га; в 2019 году Саратовская 42 – 1,13 т/га, Зинаида и Саратовская 73 – 1,14 т/га; в 2020 году Саратовская 73 и Альбидум 32, соответственно 1,52 и 1,54 т/га; в 2021 году Альбидум 32 – 2,38 т/га и в 2022 году Альбидум 29 – 2,21 т/га.

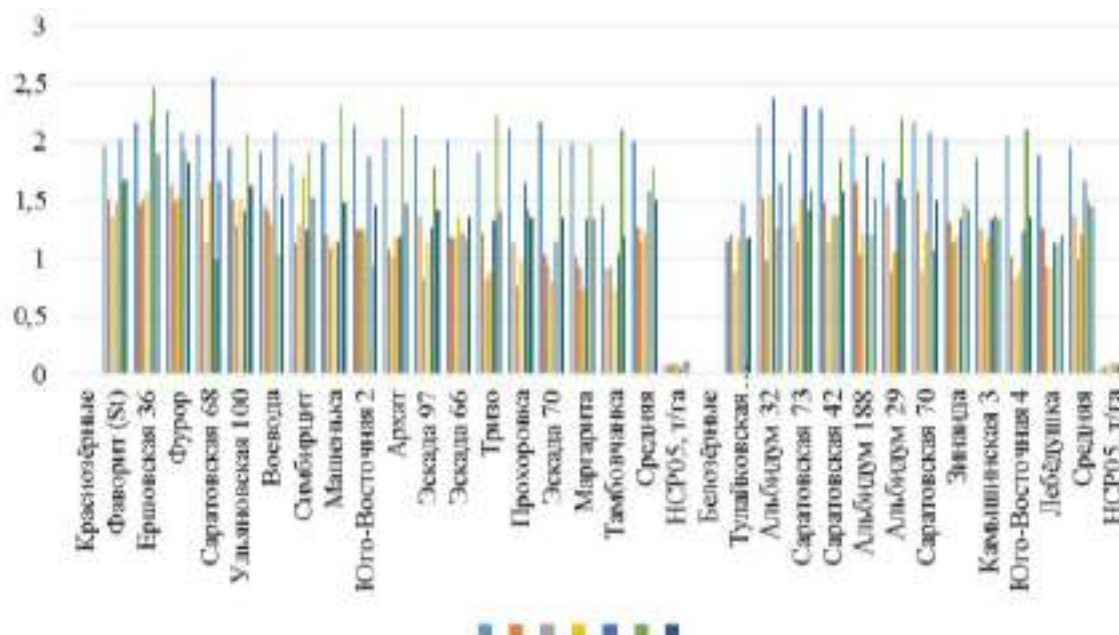


Рисунок 3 – Урожайность сортов мягкой яровой пшеницы, т/га
Figure 3 – Yields of soft spring wheat varieties, t/ha

Самым урожайным из всех изученных лет был 2017 год, который обеспечил среднюю урожайность краснозёрных сортов на уровне 2,01 т/га, белозёрных – на уровне 1,95 т/га. Самым низкоурожайным для краснозёрных и белозёрных сортов был 2019 год с урожайностью, соответственно 1,13 и 0,99 т/га. Кроме того, 2017, 2019, 2020 и 2022 годы были лучшими для краснозёрных сортов пшеницы, в то время как 2018 и 2021 годы – для белозёрных сортов.

Самой высокой урожайность в среднем за шесть лет была у краснозёрного сорта Ершовская 36 – 1,90 т/га, что было на 0,23 т/га или 1,38 % больше, чем у стандарта Фаворит. Также существенно превышал стандарт краснозёрный сорт Фурор – на 0,15 т/га, или 9,0 %. Наименьшая урожайность из сортов с красным зерном отмечалась у Тамбовчанки – 1,19 т/га, что было ниже, чем у Фаворита (St), на 28,8 %. Из сортов с белым зерном самую большую урожайность обеспечивал Альбидум 32 – 1,64 т/га, что было больше Тулайковской золотистой (St) на 39,0 %. Также существенно превышали стандарт белозёрные сорта Саратовская 42 и Саратовская 73, соответственно на 33,9 и 34,8 %, Альбидум 29 и Альбидум 188 на 28,8 %, Саратовская 70 на 27,1 %, Зинаида на 19,5 %, Ка-

мышинская 3 и Юго-Восточная 4, соответственно на 12,7 и 14,4 %. И только Лебедушка была на уровне стандарта, у которой урожайность составила 1,20 т/га. Также в среднем краснозёрные сорта были более урожайные, чем белозёрные на 0,06 т/га.

Согласно оценке, камышинские сорта мягкой пшеницы яровой расположились следующим образом: краснозёрный сорт Фурор в своей группе занимал второе место, белозёрные сорта Зинаида и Камышинская 3, соответственно, на седьмом и восьмом местах, что говорит о большом потенциале для селекционной работы в наших условиях. С другой стороны, сорт Фурор не был занесён в реестр селекционных достижений по Волгоградской области, невзирая на его прекрасные перспективы. Источник этой неудачи кроется в том, что немыслимо всецело освоить сорт за 1-2 года. По этой же причине был районирован региональный низкоурожайный сорт стандарт Тулайковская золотистая. Материал, обретенный вследствие отбора перспективных и районированных сортов, представляет огромную ценность в интересах последующих селекционных целей. Из материнских форм для целей скрещивания рационально использовать сорта с повышенной приспособляемостью и урожайностью, такого рода как краснозёрные Ершовская 36, Саратовская 68 и Ульяновская 100, белозёрные – Альбидум 32, Саратовская 73 и Саратовская 42.

Выводы. Многолетнее исследование позволило ранжировать сорта пшеницы яровой мягкой и всесторонне определить их продуктивные и адаптивные свойства. Краснозёрные сорта Фаворит (St), Ершовская 36, Фурор, Саратовская 68 и белозёрный Альбидум 32 показали лучшие результаты в сухих степях Нижней Волги.

Conclusions. A multi-year study has made it possible to rank spring wheat varieties and comprehensively determine their productive and adaptive properties. The red-grey varieties Favorit (St), Ershovskaya 36, Furor, Saratovskaya 68 and the white-grey Albidum 32 showed the best results in the dry steppes of the Lower Volga.

Библиографический список

1. Кинчаров А. И. и др. Актуальные проблемы адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в среднем Поволжье и пути их решения. Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20. № 2-3. С. 459-463.
2. Амунова О. С., Волкова Л. В., Мамаева А. В. Результаты изучения образцов мягкой яровой пшеницы из коллекции ВИР по адаптивно значимым и хозяйственно ценным признакам. Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 2 (30). С. 8-21.
3. Асеева Т. А., Зенкина К. В., Ломакина И. В. Хозяйственная и биологическая характеристика перспективного универсального сорта яровой пшеницы Далира. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 59-64.
4. Балашов В. В., Балашов А. В., Левкина К. В. Урожайность яровой твёрдой пшеницы в зависимости от гидротермических условий на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4 (48). С. 29-35.
5. Богдан П. М., Коновалова И. В., Клыков А. Г. Влияние абиотических факторов на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Приморского края. Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 1. С. 16-20.
6. Жаркова С. В., Дворникова Е. И. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы и зональные особенности семеноводства Алтайского края. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2021. № 5 (190). С. 54-71.
7. Зеленев А. В., Маркова И. Н., Смутнев П. А. Перспективы создания сортов яровой полбы в условиях Нижнего Поволжья. Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы III Международной науч.-практ. конференции. Макеевка, 2020. С. 24-28.
8. Иванова И. Ю., Ильина С. В. Сравнительная оценка продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР. Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20. № 2-2 (82). С. 182-185.
9. Дружин А. Е. Изучение хозяйственно-ценных и адаптивных признаков у нового сорта яровой мягкой пшеницы Александрит, созданного методом интрогрессивной селекции. Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 12-17.

10. Лёвкина К. В., Кудина К. А., Аршинова А. Е. Отбор адаптированных сортов яровой мягкой и твердой пшеницы для светло-каштановых почв Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 78-86.
11. Малокозова Е. И. Основные направления селекции яровой пшеницы на засухоустойчивость. Земледелие. 2018. № 3. С. 37-39.
12. Маркова И. Н. Оценка продуктивности и адаптивных свойств сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья. Научно-агрономический журнал. 2019. № 2 (105). С. 35-37.
13. Агеева Е. В. и др. Масса зерна колоса и масса тысячи зёрен как признаки продуктивности у сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости в условиях лесостепи Приобья. Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 7 (1). С. 5-11.
14. Наймушина А. Ю., Яичкин В. Н. Влияние сорта на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях оренбургского Предуралья. Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 3 (71). С. 45-48.
15. Наумова Н. А. Изменчивость ценных признаков образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР в засушливых условиях Астраханской области. Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 25-31.
16. Сергеева И. В. и др. Совершенствование технологий возделывания яровой пшеницы для устойчивого развития сельского хозяйства Поволжского региона. Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 59-65.
17. Сыздыкова Г. Т., Середа С. Г., Малицкая Н. В. Подбор сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по адаптивности к условиям степной зоны Акмолинской области Казахстана. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 1. С. 103-110.
18. Тарасенкова Ю. П., Зеленев А. В. Влияние бактериальных препаратов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Северного Прикаспия. Наука и молодежь: новые идеи и решения: материалы XV Международной науч.-практ. конференции молодых исследователей. Волгоград, 2021. С. 394-397.
19. Davydova N. V., Kazachenko A. O., Shirokolava A. V., et al. The spring wheat yield formation in Russia central region as productive stalks density function. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex"" 2021. P. 012003.

References

1. Kincharov A. I. et al. Current problems of adaptive breeding of spring soft wheat in the middle Volga region and ways to solve them. News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. V. 20. № 2-3. Pp. 459-463.
2. Amunova O. S., Volkova L. V., Mamaeva A. V. Results of studying soft spring wheat samples from the VIR collection by adaptively significant and economically valuable features. Tauride Bulletin of Agrarian Science. 2022. № 2 (30). Pp. 8-21.
3. Aseeva T. A., Zenkina K. V., Lomakina I. V. Economic and biological characteristics of the promising universal variety of spring wheat Dalir. Achievements in science and technology of the agro-industrial complex. 2020. V. 34. № 6. Pp. 59-64.
4. Balashov V. V., Balashov A. V., Levkina K. V. Yield of spring hard wheat, depending on hydrothermal conditions on light chestnut soils of the Volgograd region. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2017. № 4 (48). Pp. 29-35.
5. Bogdan P. M., Konovalova I. V., Klykov A. G. The influence of abiotic factors on the yield and quality of spring soft wheat grain in the conditions of the Primorsky Territory. Achievements in science and technology of the agro-industrial complex. 2021. V. 35. № 1. Pp. 16-20.
6. Zharkova S. V., Dvornikova E. I. Assessment of varieties of spring soft wheat and zonal features of seed production in the Altai Territory. Feeding farm animals and fodder production. 2021. № 5 (190). Pp. 54-71.
7. Zelenев А. В., Маркова И. Н., Смутнев П. А. Prospects for creating varieties of spring spelt in the Lower Volga region. Priority vectors for the development of industry and agriculture: materials of the III International Scientific Practice. conferences. Makeevka, 2020. Pp. 24-28.

8. Ivanova I. Yu., Ilyina S. V. Comparative assessment of the productivity of varieties of spring soft wheat in the VIR collection. News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. V. 20. № 2-2 (82). Pp. 182-185.
9. Druzhin A. E. The study of economically valuable and adaptive features in a new variety of spring soft wheat Alexandrit, created by the method of introgressive selection. Successes of modern natural history. 2018. № 9. Pp. 12-17.
10. Lyovkina K. V., Kudina K. A., Arshinova A. E. Selection of adapted varieties of spring soft and hard wheat for light chestnut soils of the Volgograd region. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. № 2 (50). Pp. 78-86.
11. Malokostova E. I. The main directions of spring wheat selection for drought resistance. Agriculture. 2018. № 3. Pp. 37-39.
12. Markova I. N. Assessment of productivity and adaptive properties of varieties of spring soft wheat in the Lower Volga region. Scientific and agronomic journal. 2019. № 2 (105). Pp. 35-37.
13. Ageeva E. V., et al. The mass of spike grain and the mass of a thousand grains as signs of productivity in varieties of spring soft wheat of different ripeness groups in the conditions of the Priobye forest-steppe. Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. № 7 (1). Pp. 5-11.
14. Naimushina A. Yu., Ovetkin V. N. The influence of the variety on the yield and quality of spring soft wheat grain in the Orenburg Urals. Izvestia Orenburg GAU. 2018. № 3 (71). Pp. 45-48.
15. Naumova N. A. Variability of valuable signs of samples of spring soft wheat of the VIR collection in the arid conditions of the Astrakhan region. Agrarian Scientific Journal. 2020. № 8. Pp. 25-31.
16. Sergeeva I. V., et al. Improvement of spring wheat cultivation technologies for sustainable development of Volga region agriculture. Agrarian Scientific Journal. 2020. № 10. Pp. 59-65.
17. Syzdykova G. T., Sereda S. G., Malitskaya N. V. Selection of varieties of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) in adaptability to the conditions of the steppe zone of the Akmola region of Kazakhstan. Agricultural biology. 2018. V. 53. № 1. Pp. 103-110.
18. Tarasenkova Yu. P., Zelenev A. V. Effect of bacterial preparations on the yield and quality of spring wheat grains in the Northern Caspian region. Science and youth: new ideas and solutions: materials of the XV International Scientific Practice. conferences of young researchers. Volgograd, 2021. Pp. 394-397.
19. Davydova N. V., Kazachenko A. O., Shirokolava A. V., et al. The spring wheat yield formation in Russia central region as productive stalks density function. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex"" 2021. P. 012003.

Информация об авторах

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

Чамурлиев Омарий Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, директор НИИ, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: attika.ge@yandex.ru.

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

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

Филин Валентин Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26).

Author's Information

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

Chamurliov Omary Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Director of the Research Institute, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: attika.ge@yandex.ru

Markova Irina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Agronomist-Breeder of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4761-0554>, e-mail: irynamarckOva@yandex.ru

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

Filin Valentin Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-03

DESIGN AND COMPUTER IMPLEMENTATION COMPLEX OF PROGRAMS FOR INTELLECTUAL MONITORING THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF AGROBIOCOENOSES UNDER CONDITIONS OF THEIR CONTROLLED CULTIVATION

N. I. Lebed, K. E. Tokarev, S. D. Fomin

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nik8872@yandex.ru

Received 02.10.2023

Submitted 03.11.2023

*The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 22-21-20041,
<https://rscf.ru/project/22-21-20041/> and the Volgograd region*

Summary

The article presents a description of the developed software modules that make it possible to implement combinations of climatic parameters within a closed ecosystem, to carry out operational monitoring and assessment of the state of nutrient media and individual plant parts for the presence of deviations during digital phenotyping. An intelligent technology for monitoring the state of agrophytocenoses is proposed, taking into account the phases of the growing season in conditions of virus-free seed production with the ability to study plant growth and development using a neural network.

Abstract

Introduction. The article is devoted to the problems of design and computer implementation of an ensemble of software modules, the basic functionality of which is automated monitoring of the growth dynamics of agrobiocenoses under conditions of their controlled cultivation with the possibility of further research of development by vegetation phases using a deep learning neural network with convolutional layers. The main stages of the development of digital device circuits, algorithms for their operation and computer implementation of combinations of climatic parameters within closed ecosystems, operational monitoring of the state of nutrient media and individual plant parts for deviations during digital phenotyping are considered. **Object.** The object of the study is the growth and development of agro-bioceons under controlled cultivation conditions. **Materials and methods.** Design and computer

implementation were carried out in a simulation environment with the selection of basic components of an intelligent control system with subsequent integration with microcontroller components. Computer implementation of program modules was carried out in an integrated application development environment in the C++ programming language. **Results and conclusions.** An automated system for implementing combinations of climatic parameters within closed ecosystems, operational monitoring of the state of nutrient media and individual plant parts for deviations in digital phenotyping were modeled, and its performance was tested in a simulation environment that proved its effectiveness. A set of special software is presented for implementing the algorithms for the operation of the proposed intelligent algorithms. A concept is proposed for managing and monitoring the state of agrophytocenoses in conditions of virus-free seed production with the ability to study plant growth and development using a neural network with convolutional layers. The diagram includes a three-level automation system: at the lower level, sensors and relays of actuators; application of computer vision algorithms for operational monitoring of the state of the growing medium, growth and development of plants, displaying images on the screen of a computerized supervisory control and data acquisition system (CSDUiSD), exporting images to cloud data storage services for multi-class classification according to pre-prepared data deep learning neural network classes with convolutional layers (CNN); connection between computer vision components, microcontrollers for operational monitoring and notification when deviations are detected (the presence of contamination of the nutrient medium / explants, diseases) when growing agrobiocenoses in virus-free seed production.

Key words: agrobiocenoses, hybrid control systems, machine learning, neural network with convolutional layers.

Citation. Lebed N. I., Tokarev K. E., Fomin S. D. Design and computer implementation complex of programs for intellectual monitoring the growth and development of agrobiocoenoses under conditions of their controlled cultivation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 38-49. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-03.

Author's contribution. The authors of this study were directly involved in formulating the problem, planning the study, analyzing, presenting conclusions and preparing proposals for production. The authors of this article have reviewed and approved the final version of the article.

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

УДК 631.67:004.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА РОСТА И РАЗВИТИЯ АГРОБИОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ ИХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Н. И. Лебедь, доктор технических наук
К. Е. Токарев, кандидат экономических наук, доцент
С. Д. Фомин, доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-20041,
<https://rscf.ru/project/22-21-20041/> и Волгоградской области

Актуальность. Статья посвящена проблемам проектирования и компьютерной реализации ансамбля программных модулей, базовым функционалом которых является автоматизированный мониторинг динамики роста агrobiоценозов в условиях их контролируемого выращивания с возможностью дальнейшего исследования развития по фазам вегетации нейронной сетью глубокого обучения со сверточными слоями. Рассмотрены основные этапы разработки цифровых схем устройств, алгоритмов их работы и компьютерной реализации комбинаций климатических параметров внутри закрытых экосистем, оперативного мониторинга состояния

питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. **Объект.** Объектом исследования являются рост и развитие агробиоценозов в условиях контролируемого выращивания. **Материалы и методы.** Проектирование и компьютерная реализация осуществлялась в среде имитационного моделирования с подбором базовых компонентов системы интеллектуального управления с последующей интеграцией с микроконтроллерными компонентами. Компьютерная реализация программных модулей осуществлялась в интегрированной среде разработки приложений на языке программирования C++. **Результаты и выводы.** Осуществлено моделирование автоматизированной системы реализации комбинаций климатических параметров внутри закрытых экосистем, оперативного мониторинга состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании, произведена ее проверка на работоспособность в среде имитационного моделирования, доказавшей ее эффективность. Представлен комплекс специального программного обеспечения для реализации алгоритмов работы предлагаемых интеллектуальных алгоритмов. Предлагается концепция управления и мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях безвирусного семеноводства с возможностью исследования роста и развития растений с использованием нейронной сети со сверточными слоями. Схема включает трехуровневую систему автоматизации: на нижнем уровне датчики и реле исполнительных механизмов; применение алгоритмов компьютерного зрения для оперативного мониторинга состояния питательной среды, роста и развития растений, вывода изображения на экран компьютеризированной системы диспетчерского управления и сбора данных (КСДУиСД), экспорт изображений на облачные сервисы хранения данных для мультиклассовой классификации по заранее подготовленным классам нейронной сети глубокого обучения со сверточными слоями (CNN); связь между компонентами машинного зрения, микроконтроллеров для оперативного мониторинга и оповещения при обнаружении отклонений (наличие контаминации питательной среды / эксплантов, болезней) при выращивании агробиоценозов в безвирусном семеноводстве.

Ключевые слова: агробиоценозы, гибридные системы управления, машинное обучение, нейронная сеть со сверточными слоями.

Цитирование. Лебедь Н. И., Токарев К. Е., Фомин С. Д. Проектирование и компьютерная реализация комплекса программ для интеллектуального мониторинга роста и развития агробиоценозов в условиях их контролируемого выращивания. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 38-49. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-03.

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.

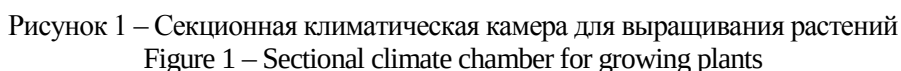
Введение. Основным направлением получения оздоровленного посадочного материала является клональное микроразмножение, преимуществами которого также являются возможность получать высококачественный семенной и посадочный материал культурных растений круглый год в гораздо больших объемах [1]. Соблюдение условий стерильности в процессе клонального микроразмножения культур является важнейшим фактором его успешного проведения. Растения обладают высокой восприимчивостью к микроорганизмам, подавляющим их рост, и не способны сопротивляться инфекциям. А поскольку питательная среда, на которой выращиваются экспланты, является идеальной средой для роста микроорганизмов, необходимо не только исключить возможность контаминации из внешней среды. Как правило, идентификация контаминации питательной среды или экспланта осуществляется визуально подготовленными людьми, отвечающими за культивирование микрорастений и ведущими мониторинг для контроля за состоянием роста и развития продукции растениеводства в регулируемых условиях микроклимата.

Тем не менее, обеспечение визуальной достоверной идентификации контаминации осложнено проблемой, представленной индивидуальными и субъективными факторами, такими как низкая квалификация или ее отсутствие, недостаточный опыт работы и утомляемость состояния исполнителей. Кроме этого, отсутствие кадров, оптимизация производства обязывает разработку и внедрение автоматизированных цифровых систем для эффективной реализации культивирования растений на основании достоверных данных. При этом для ускоренного размножения и получения качественного посадочного материала в условиях искусственных экобиосистем необходимо осуществлять подбор оптимального состава питательных сред и параметров окружающей среды на каждой стадии развития растений индивидуально для каждой культуры и даже для отдельных сортов. Это требует точной регистрации морфометрических показателей прироста отдельных частей, органов растений и растений в целом, культивируемых на разных питательных средах, что связано с необходимостью объективной регистрации и обработкой одновременно большого количества данных, снижения влияния человеческого фактора [2, 3, 4]. Данное проблемное противоречие может быть решено на основе внедрения цифрового фенотипирования с использованием средств автоматизации и интеллектуальных методов моделирования. Решение указанных проблем возможно путем разработки и внедрения интеллектуальной системы обнаружения контаминации посредством технического зрения, анализа цифровых снимков с использованием библиотек машинного обучения для последующей обработки нейронными сетями со сверточными слоями [5–8].

Авторами предлагаются электронные схемы устройств автоматизированных систем управления, алгоритмы и специальное программное обеспечение для реализации комбинаций климатических параметров внутри закрытой экосистемы, оперативного мониторинга состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании [9, 10].

Методы и методы. В качестве объекта исследований и автоматизации был выбран процесс выращивания растений *in vitro* в регулируемых условиях посредством секционной климатической камеры (рисунок 1) с оперативным мониторингом состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. Проектирование и компьютерная реализация осуществлялись в среде имитационного моделирования с подбором базовых компонентов системы интеллектуального управления с последующей интеграцией с микроконтроллерными компонентами. Компьютерная реализация программных модулей осуществлялась в интегрированной среде разработки приложений на языке программирования C++.

Результаты и обсуждение. Климатическая камера (Патент РФ на полезную модель RU 208958, 54.01.2022. Заявка № 2021111261 от 21.04.2021) выполнена в виде корпуса 1, содержащего две независимые друг от друга изолированные рабочие камеры 2. Рабочие камеры 2 содержат отсек 3, температурный датчик 4, квантовый фотометр 5 и блок освещения, выполненный в виде панелей 6 со светодиодами 7. Панели 6 расположены сверху и по бокам зоны выращивания растений. Внутри отсека 3 расположены блок управления искусственным климатом (на фигурах не показан) и индивидуальные модули очистки воздуха 8, оснащенные блоком озонирования 9 и угольными фильтрами 10. С лицевой стороны корпуса 1 расположены панели управления 11 для каждой рабочей камеры 2, каждая из независимых рабочих камер 2 изолируется от внешней среды посредством герметичных люков 12.



В качестве примера на рисунке 2 представлена электронная схема (в режиме симуляции) управления секцией климатической камерой, в частности полива с мониторингом влажности почвы, яркости и времени освещения по заданным параметрам светового дня, температурных параметров с контролем термо- и влажностных характеристик воздуха, pH-рабочего раствора и давления воздуха. В качестве среднего уровня автоматизации, организации обратной связи между контрольно-измерительными приборами и устройствами индикации, управления исполнительными органами использован микроконтроллер AVR-архитектуры. Для предлагаемой схемы был разработан алгоритм работы, реализованный в программном обеспечении на языке программирования C++. Данная схема позволяла в режиме реального времени произвести проверку работоспособности и эффективности электронных компонентов, исполнительных органов, алгоритмов их работы и программного обеспечения.

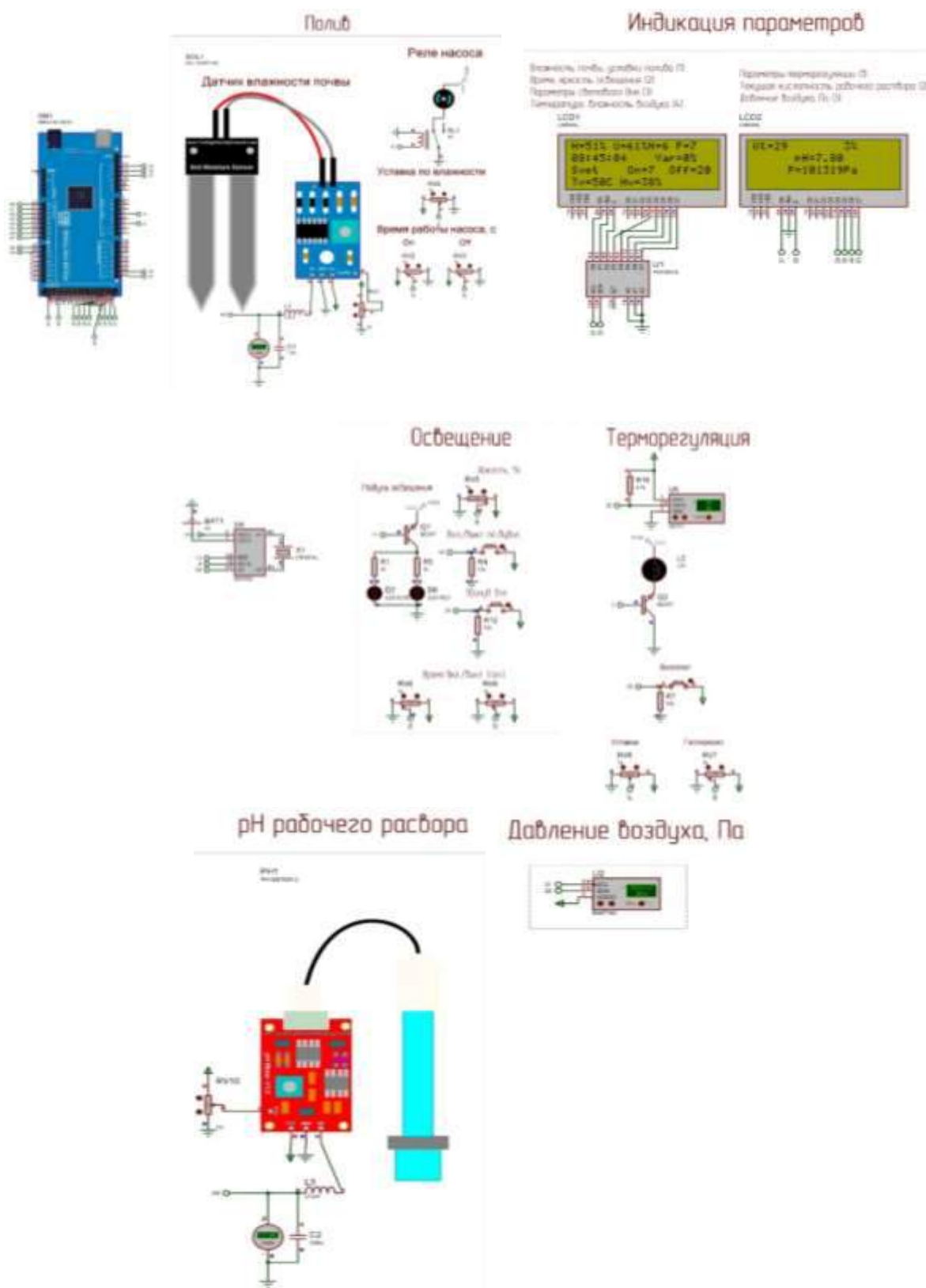


Рисунок 2 – Моделирование работы схемы системы управления секцией климатической камерой (в режиме симуляции)

Figure 2 – Simulation of the operation of the climatic chamber section control system circuit (in simulation mode)

В качестве исполнительных органов и контрольно-измерительных приборов представлены электромагнитное реле для управления водяным насосом, силовые ключи на базе транзисторов для контроля тепловентилятора и светодиодного освещения, датчики: температуры и влажности воздуха DHT-11, pH-рабочего раствора «DFRobot Pro», влажности почвы «Proto-PIC», давления воздуха «BMP-180». Вышеуказанная схема системы управления секцией климатической камеры выполняла функции посредством алгоритма, реализованного в специальном программном обеспечении АСУ (Лебедь Н. И., Токарев К. Е.). Автоматизированное управление и мониторинг состояния почвенно-климатических и барометрических параметров искусственных фитоценозов // // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023617059, 05.04.2023. Заявка № 2023615134 от 20.03.2023). Программа предназначена для автоматизированного управления и мониторинга состояния почвенно-климатических и барометрических параметров искусственных фитоценозов. Область применения программы: высокопродуктивное сельскохозяйственное производство. Функции программы: мониторинг и передача данных о барометрических параметрах газовой среды, влажности и кислотности грунта, регулирование потоков питательных веществ; управление продолжительностью светового дня и поливом по датчику влажности.

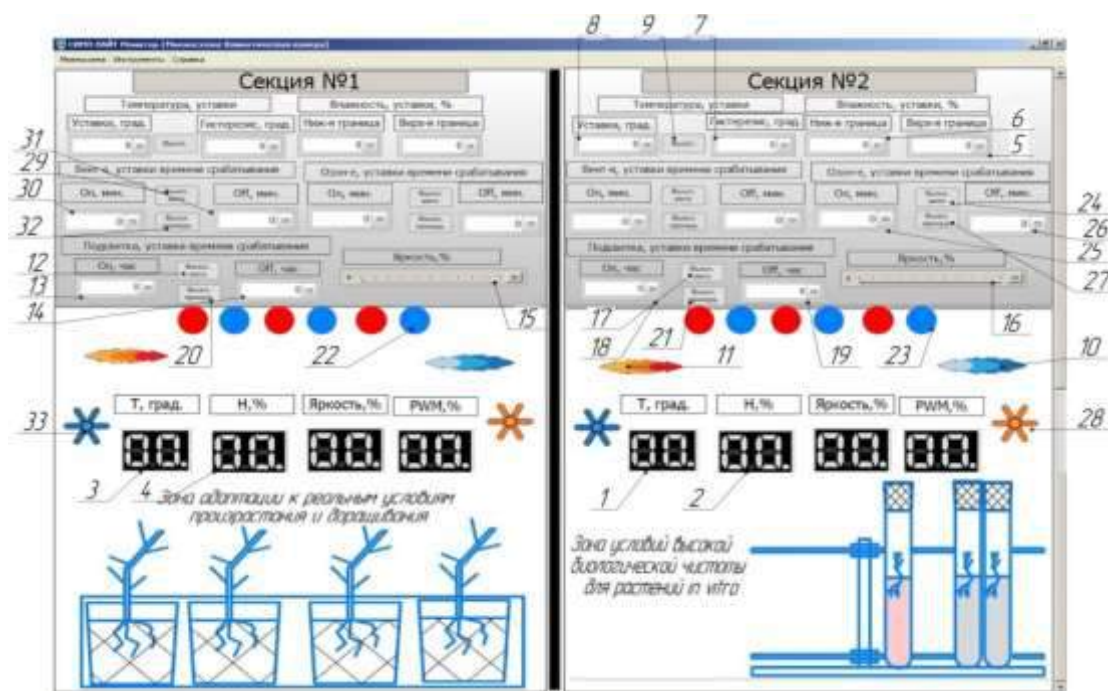


Рисунок 3 – Распределение тегов на мнемосхеме КСДУиСД

Figure 3 – Distribution of tags on the KSDUiSD mnemonic diagram

- 1 – текущая температура 2-й секции, 2 – текущая влажность 2-й секции, 3 – текущая температура 1-й секции, 4 – текущая влажность 1-й секции, 5 – верхнее пороговое значение влажности воздуха, 6 – нижнее пороговое значение влажности воздуха, 7 – гистерезис температуры, 8 – уставки температуры, 9 – выключатель терморегулятора, 10 – индикация работы увлажнителя, 11 – индикация работы терморегулятора, 12, 17 – автоматический режим освещения, 13, 18 – время включения освещения, 14, 19 – время выключения освещения, 15, 16 – коррекция яркости освещения, 20, 21 – принудительное включение освещения, 22, 23 – индикация работы освещения, 24 – автоматический режим обеззараживания воздуха, 25 – время включения озонатора, 26 – время выключения озонатора, 27 – принудительное включение озонатора, 28 – индикация работы озонатора, 29 – автоматический режим вентиляции воздуха, 30 – время включения вентиляции, 31 – время выключения вентиляции, 32 – принудительное включение вентиляции, 33 – индикация работы вентиляции.

Для обеспечения связи между средним и верхним уровнем автоматизации была применена схема, включающая применение промышленного протокола передачи данных и стандарта физического уровня.

Для реализации человеко-машинного интерфейса была разработана мнемосхема компьютеризированной системы диспетчерского управления и сбора данных [14], а также осуществлено распределение тегов на элементах ее индикации и управления (рисунок 3).

На основе результатов исследований разработана заявка на регистрацию и получено свидетельство № 2022617977 на программу для ЭВМ «Программный модуль компьютерного мониторинга признаков заражения посевов агрокультур при клональном микроразмножении».

В рамках научных исследований сотрудников ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, посвященных проблемам разработки методов и алгоритмов повышения биопродуктивности агросистем на основе нейросетевых технологий в условиях точного земледелия Волгоградской области при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант № 22-21-20041) реализован комплекс программных средств:

1. Программа для интеллектуального анализа и мониторинга признаков контаминации агрокультур при микроклональном размножении в условиях поддержания биологической чистоты. Программа предназначена для интеллектуального анализа и мониторинга визуальных признаков контаминации эксплантов и питательной среды агрокультур при микроклональном размножении в условиях поддержания биологической чистоты (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Программа для интеллектуального анализа и мониторинга признаков контаминации агрокультур при микроклональном размножении в условиях поддержания биологической чистоты // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022661524, 22.06.2022. Заявка №2022617233, 19.04.2022).

2. Мониторинг и оценка продуктивности агрофитоценозов при биотехнических способах размножения с использованием средств цифровой цветометрии. Программный модуль предназначен для мониторинга и оценки продуктивности агрофитоценозов при биотехнических способах размножения с использованием средств цифровой цветометрии (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Мониторинг и оценка продуктивности агрофитоценозов при биотехнических способах размножения с использованием средств цифровой цветометрии // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022681596, 15.11.2022. Заявка № 2022680520, 31.10.2022).

3. Автоматизированное управление и мониторинг состояния агрофитоценозов в условиях контролируемых агроэкосистем. Программный модуль предназначен для автоматизированного управления и мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях контролируемых агроэкосистем (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Автоматизированное управление и мониторинг состояния агрофитоценозов в условиях контролируемых агроэкосистем // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023611515, 20.01.2023. Заявка № 2023610355, 10.01.2023).

4. Микропроцессорное управление и мониторинг состояния искусственных агроэкосистем в условиях закрытого грунта. Программа предназначена для автоматизированного микропроцессорного управления и мониторинга состояния искусственных агроэкосистем в условиях закрытого грунта (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Микропроцессорное управление и мониторинг состояния искусственных агроэкосистем в условиях закрытого грунта // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023611560, 23.01.2023. Заявка № 2023610290, 10.01.2023).

5. Программа для автоматизированного управления и мониторинга киберфизической системы контролируемого выращивания агрокультур. Программный модуль предназначен для автоматизированного управления и мониторинга киберфизической системы контролируемого выращивания агрокультур (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Про-

грамма для автоматизированного управления и мониторинга киберфизической системы контролируемого выращивания агрокультур // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023611561, 23.01.2023. Заявка № 2023610291, 10.01.2023).

Дальнейшее совершенствование схемы управления и мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях безвирусного семеноводства предусматривало возможность исследования роста и развития растений с использованием нейронной сети со сверточными слоями (рисунок 4).

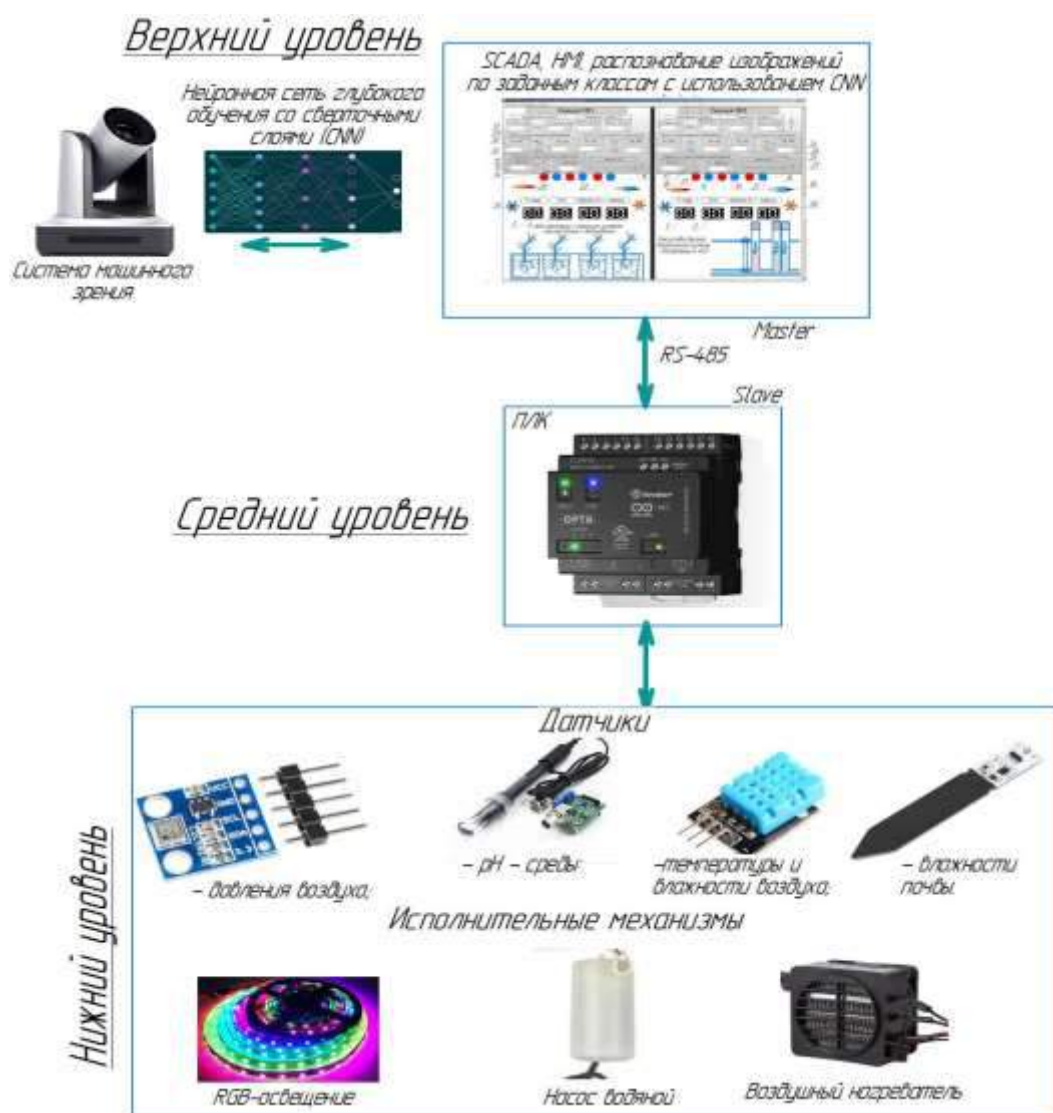


Рисунок 4 – Схема интеллектуальной системы мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях безвирусного семеноводства с возможностью исследования роста и развития растений нейронной сетью сверточной архитектуры

Figure 4 – Scheme of an intelligent system for monitoring the state of agrophytocenoses in conditions of virus-free seed production with the ability to study plant growth and development using a neural network of convolutional architecture

Схема предусматривала трехуровневую систему автоматизации, включающую:
– на нижнем уровне датчики: температуры и влажности воздуха и почвы, pH-среды, давления воздуха, реле и силовые ключи исполнительных механизмов: освещения, терморегуляции и полива;

– связь между средним (ПЛК) и верхним (КСДУиСД, НМІ) уровнями посредством протокола Modbus RTU и стандарта RS-485;

– применение алгоритмов компьютерного зрения для оперативного мониторинга состояния питательной среды, роста и развития растений, вывода изображения на мнемосхему КСДУиСД, отправление фото на облачный сервис «Teachable Machine» для разделения по заранее подготовленным классам нейронной сети глубокого обучения со сверточными слоями;

– связь между компонентами машинного зрения, КСДУиСД и промышленно-логическими контроллерами для оперативного мониторинга и оповещения при обнаружении отклонений (наличие контаминации питательной среды / эксплантов, болезней) при выращивании растений в безвирусном семеноводстве.

Заключение. Реализованный в ходе исследований ансамбль программных модулей позволяет реализовать комбинации климатических параметров внутри закрытой экосистемы, осуществлять оперативный мониторинг и оценку состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. В качестве объекта исследований и автоматизации выбран процесс выращивания растений в регулируемых условиях посредством секционной климатической камеры с оперативным мониторингом состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. Указанное устройство обеспечивает проведение необходимых исследований в условиях регулируемого микроклимата при наличии гибкой настройки каждой управляемой зоны, что значительно снизит временные затраты на нахождение оптимальных микроклиматических условий для каждого конкретного образца. Предлагается интеллектуальная технология мониторинга состояния агрофитоценозов с учетом фаз вегетации в условиях безвирусного семеноводства с возможностью исследования роста и развития растений с использованием нейронной сети.

Conclusions. The ensemble of software modules implemented in the course of research makes it possible to implement combinations of climatic parameters within a closed ecosystem, to carry out operational monitoring and assessment of the state of nutrient media and individual parts of plants for the presence of deviations in digital phenotyping. As the object of research and automation, the process of growing plants in regulated conditions is selected by means of a sectional climatic chamber with operational monitoring of the state of nutrient media and individual parts of plants for the presence of deviations in digital phenotyping. Said device provides the necessary investigations under controlled microclimate conditions in the presence of flexible adjustment of each controlled zone, which will significantly reduce the time spent on finding optimal microclimate conditions for each specific sample. An intelligent technology for monitoring the state of agrophytocenoses is proposed, taking into account the phases of vegetation in the conditions of virus-free seed production with the possibility of studying the growth and development of plants using a neural network.

Библиографический список

1. Общее собрание секции механизации, электрификации и автоматизации отделения сельскохозяйственных наук РАН. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 2. С. 4.
2. Berezhnoy V. A., Ivashchuk O. A., Maslakov Y. N. Approaches for Automated Monitoring and Evaluation of In Vitro Plant's Morphometric Parameters. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2020. V. 17. № 9-10. Pp. 4725-4732.
3. Бережной В. В., Иващук О. А., Семенов Д. С. Обзор методов и алгоритмов автоматизированных систем фенотипирования растений. Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 111-116.
4. Бережной В. А., Иващук О. А., Маслаков Ю. Н. Разработка метода сегментации 3d моделей вегетативной части побега. Научно-технический вестник поволжья. 2021. № 5. С. 30-34.
5. Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Повышение продуктивности агрофитоценозов в условиях точного земледелия с использованием нейросетевых алгоритмов глубокого обучения: обоснование применения и аспекты компьютерной реализации. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 662-664.

6. Tokarev K. E., Lebed N. I. Neural network system for recognition and visualization of problem areas of crops in precision farming: justification of application and aspects of implementation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. № 1138 (1). 012017.
7. Зыков А. В., Юнин В. А., Захаров А. М. Использование робототехнических средств в АПК. Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 3 (81). С. 8-11.
8. Рунов Б. А. Применение робототехнических средств в АПК. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 2. С. 44-47.
9. Лебедь Н. И., Токарев К. Е., Нехорошев Д. Д., Аксенов М. П. Исследование и моделирование режимов работы программно-аппаратного комплекса системы микроклимата на базе микроконтроллера ATMEGA2560. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2022. № 4. Т. 28. С. 595-605.
10. Токарев К. Е., Руденко А. Ю., Кузьмин В. А., Чернявский А. Н. Теория и цифровые технологии интеллектуальной поддержки принятия решений для увеличения биопродуктивности агроэкосистем на основе нейросетевых моделей. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 421-440.
11. Хвостенко Т. М., Алексанов И. А. Внедрение и проблематика робототехнических средств в АПК. Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. 2022. № 2 (20). С. 4-9.
12. Тюрин С. Ф., Ковыляев Д. А., Данилова Е. Ю., Городилов А. Ю. Изучение программирования микроконтроллеров в САПР Proteus. Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2021. № 2 (53). С. 69-74.
13. Лепешко Л. С. Обзор программных продуктов для автоматизации в АПК. Новости науки в АПК. 2019. № 3 (12). С. 318-324.
14. Лебедь Н. И., Гапич Д. С., Ханин Ю. И., Веселова Н. М., Фомин С. Д. Разработка и обоснование автоматизированной системы управления и программного обеспечения SCADA-системы процессом резания плодоовощных материалов ломтиковым измельчителем. Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. ВолГАУ. 2022. № 2 (66). С. 364-372.

References

1. General meeting of the section of mechanization, electrification and automation of the department of agricultural sciences of the Russian Academy of Sciences. Agricultural machinery and technology. 2016. № 2. Pp. 4.
2. Berezhnoy V. A., Ivashchuk O. A., Maslakov Y. N. Approaches for Automated Monitoring and Evaluation of In Vitro Plant's Morphometric Parameters. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2020. V. 17. № 9-10. Pp. 4725-4732.
3. Berezhnoy V. V., Ivashchuk O. A., Semenov D. S. Overview of methods and algorithms of automated plant phenotyping systems. Modern science-intensive technologies. 2021. № 4. Pp. 111-116.
4. Berezhnoy V. A., Ivashchuk O. A., Maslakov Yu. N. Development of a method for segmentation of 3d models of the vegetative part of the shoot. Scientific and technical bulletin of the Volga region. 2021. № 5. Pp. 30-34.
5. Lebed N. I., Tokarev K. E. Increasing the productivity of agrophytocenoses in precision farming using deep learning neural network algorithms: justification for application and aspects of computer implementation. International Agricultural Journal. 2022. № 6 (390). Pp. 662-664.
6. Tokarev K. E., Lebed N. I. Neural network system for recognition and visualization of problem areas of crops in precision farming: justification of application and aspects of implementation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. № 1138 (1). 012017.
7. Zykov A. V., Yunin V. A., Zakharov A. M. The use of robotics in the agro-industrial complex. International Research Journal. 2019. № 3 (81). Pp. 8-11.
8. Runov B. A. Application of robotics in the agro-industrial complex. Agricultural machinery and technology. 2016. № 2. Pp. 44-47.
9. Lebed N. I., Tokarev K. E., Nekhoroshev D. D., Aksenov M. P. Research and modeling of the operating modes of the firmware complex of the microclimate system based on the ATMEGA2560 microcontroller. Bulletin of Tambov State Technical University. 2022. № 4. V. 28. Pp. 595-605.

10. Tokarev K. E., Rudenko A. Yu., Kuzmin V. A., Chernyavsky A. N. Theory and digital technologies of intelligent decision support for increasing the bio-productivity of agroecosystems based on neural network models. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2021. № 4 (64). Pp. 421-440.

11. Khvostenko T. M., Aleksanov I. A. Introduction and problems of robotic means in the agro-industrial complex. *Bulletin of the educational consortium Central Russian University. Information technology*. 2022. № 2 (20). Pp. 4-9.

12. Tyurin S. F., Kovylyaev D. A., Danilova E. Yu., Gorodilov A. Yu. Study of microcontroller programming in Proteus CAD. *Bulletin of Perm University. Maths. Mechanics. Informatics*. 2021. № 2 (53). Pp. 69-74.

13. Lepeshko L. S. Overview of software products for automation in the agro-industrial complex. *Science news in the agro-industrial complex*. 2019. № 3 (12). Pp. 318-324.

14. Lebed N. I., Gapich D. S., Khanin Yu. I., Veselova N. M., Fomin S. D. Development and justification of the automated control system and software of the SCADA system by the process of cutting fruit and vegetable materials with a slice grinder. *News of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. VolGAU*. 2022. № 2 (66). Pp. 364-372.

Информация об авторах

Лебедь Никита Игоревич, профессор кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», доктор технических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Токарев Кирилл Евгеньевич, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика», кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, профессор кафедры «Механика», доктор технических наук, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Author's Information

Lebed Nikita Igorevich, Professor of the Department of Power Supply and Energy Systems, Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Tokarev Kirill Evgenievich, Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling and Informatics, Candidate of Economic Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Professor of the Department of Mechanics, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-04

SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY IN CONNECTION WITH PRE-SOWING INOCULATION OF SOYBEAN SEEDS IN TWO IRRIGATION MODES OF LIGHT CHESTNUT SOIL

A. Yu. Moskvichev¹, S. A. Agapova²

¹*Volgograd State Agrarian University*

²*All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: sveta-sxi@rambler.ru

Received 30.06.2023

Submitted 25.08.2023

Summary

This article discusses the effect of pre-sowing inoculation of soybean seeds on light chestnut soil under various irrigation regimes. The results obtained prove the advantage of seed inoculation in the irrigation regimes under consideration, which are fully correlated with the productivity and quality of this leguminous crop.

Abstract

Introduction. The role of pre-sowing inoculation of seeds of such a leguminous crop as soybean undoubtedly generally leads to an increase in the biological activity of light chestnut soil. It is together with the seeds of this culture that the enrichment of nodule nitrogen-fixing bacteria occurs, which, in symbiosis with the leguminous plant, leads to the assimilation of atmospheric nitrogen and its conversion into forms accessible to the plant. Therefore, the purpose of determining the intensity of biological processes in the soil is judged by the rate of decomposition of linen fabrics in the studied options.

Materials and methods. Field experiments were laid in 2021-2022 on light chestnut soil of the experimental field of the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture. On two water regimes, the effectiveness of pre-sowing seed inoculation with a set of bacterial nitrogen-fixing drugs was tested in comparison with sowing untreated seeds. **Results.** The results of our study convincingly prove that seed inoculation significantly affects the biological activity of the soil complex. At the same time, the best water regime of the soil should be recognized as constant maintaining the pre-irrigation moisture threshold of at least 80% HB, in which, together with the inoculation of soybean seeds, the highest indicators are achieved. The results of the biological activity of the soil are fully correlated with the indicators of productivity and quality of the obtained grain. On average, over two years, a constant water regime should be recognized with seed inoculation, which contributes to the production of 2.72 t / ha with the best indicators of grain quality, where the content of total nitrogen was 5.83%, crude fat – 21.83% and fiber obtained at the level of 11.22%.

Key words: soybean seeds, biological activity of the soil, light chestnut soils, soybean irrigation, inoculation of soybean seeds.

Citation. Moskvichev A. Yu., Agapova S. A., Soil biological activity in connection with pre-sowing inoculation of soybean seeds in two irrigation modes of light chestnut soil. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 49-58. (in Russian). DOI:

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 631.46:633.34:631.67

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПРЕДПОСЕВНОЙ ИНОКУЛЯЦИЕЙ СЕМЯН СОИ НА ДВУХ РЕЖИМАХ ОРОШЕНИЯ СВЕТЛО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ

А. Ю. Москвичев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
С. А. Агапова², младший научный сотрудник

¹ ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Роль предпосевной инокуляции семян такой зернобобовой культуры, как соя, в целом приводит к увеличению биологической активности светло-каштановой почвы. Именно вместе с семенами этой культуры происходит обогащение почвы клубеньковыми азотфиксирующими бактериями, которые в симбиозе с бобовым растением способствуют усвоению атмосферного азота и переводу его в доступные для растения формы.

Цель работы сводится в определении интенсивности биологических процессов в почве по скорости разложения льняных полотен на исследуемых вариантах. **Материалы и методы.** Полевые опыты были заложены в 2021-2022 гг. на светло-каштановой почве опытного поля ФГБНУ Всероссийского НИИ орошаемого земледелия. На двух водных режимах почвы испытывалась эффективность предпосевной инокуляции семян сои набором бактериальных азотфиксирующих препаратов в сравнении с необработанными семенами. **Результаты.** Полученные результаты нашего исследования убедительно доказывают, что инокуляция семян существенным образом влияет на биологическую активность почвенного комплекса. При

этом лучшим водным режимом почвы следует признать поддержание предполивного порога влажности не ниже 80 % НВ, при котором вместе с инокуляцией семян сои достигнуты наивысшие показатели. Результаты биологической активности почвы полностью коррелируются с показателями продуктивности и качества полученного зерна. Следует признать, что постоянный водный режим с инокуляцией семян способствует в среднем за два года получению урожая 2,72 т/га зерна с наилучшими показателями по содержанию общего азота – 5,83 %, сырого жира – 21,83 % и клетчатки – 11,22 %.

Ключевые слова: семена сои, биологическая активность почвы, светло-каштановые почвы, орошение сои, инокуляция семян сои.

Цитирование. Москвичев А. Ю., Агапова С. А. Биологическая активность почвы в связи с предпосевной инокуляцией семян сои на двух режимах орошения светло-каштановой почвы. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 49-58. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-04.

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. Соя представляет собой уникальную по биологическим и хозяйственным свойствам сельскохозяйственную культуру многопланового применения [2]. Ее питательная ценность определяется повышенным содержанием в зерне практически всех питательных веществ, необходимых живым организмам. В связи с этим соя сейчас вышла по объемам производства в мире на четвертое место после пшеницы, кукурузы и риса. Поэтому увеличение ее производства напрямую связано со стратегией импортозамещения и обеспечения продовольственной независимости страны [3].

Дефицит биологического азота был и остаётся важной проблемой для мирового хозяйства. Его роль особенно велика в условиях ухудшающейся экологической обстановки и недостаточной обеспеченности сельского хозяйства минеральными азотными удобрениями [11, 13].

В РФ доля биологического азота в азотном балансе растениеводства крайне мала и составляет порядка 5 % [7]. При формировании благоприятных условий для симбиоза она может увеличиться до 35 %, что равнозначно экономии 80-90 млн т высокоэнергоемких азотных удобрений. Положение о высокой эффективности, экономичности, экологической целесообразности применения процессов биологической азотфиксации в хозяйственных целях на сегодняшний день становится одним из основополагающих принципов современного сельского хозяйства. Этот подход находит своё технологическое воплощение при возделывании многих бобовых культур, в частности сои [12].

Одной из основных проблем в агропромышленном комплексе является ухудшение экологического состояния пахотных земель, загрязнение сельскохозяйственных угодий токсическими веществами, вследствие резкого уменьшения объема применения органических и минеральных удобрений, которое приводит к снижению плодородия почв [10]. Угнетается жизнедеятельность большинства микроорганизмов, в том числе их ферментативная активность. Поэтому рекомендуется внесение оптимальных доз органических удобрений, что повышает биохимическую и микробиологическую активность почв по сравнению с внесением только минеральных удобрений. В почве обитает огромное количество растительных и животных организмов, характеризующихся различной деятельностью. Они наряду с высшими растениями играют важную роль в процессах почвообразования. Плодородные свойства почв во многом зависят от их жизнедеятельности (биологической активности почвы) [1, 7]. На интенсивность микробиоло-

гических процессов в почве непосредственное влияние оказывает производственная деятельность человека. В сельском хозяйстве это относится, прежде всего, к системам обработки почвы. Современные системы ресурсосберегающего земледелия основаны на значительном или полном отказе от механических обработок почвы. Основная роль в борьбе с сорняками и другими вредными организмами отводится гербицидам и парам, плодосмену и биологическим средствам защиты растений. В связи с этим существуют обоснованные опасения, что более широкое использование химических средств защиты растений может привести к подавлению активности почвенной микробиоты.

Наиболее дешевым и доступным способом обеспечения растений азотом в период вегетации является симбиотическая фиксация азота в почве [14]. В связи с этим представляет теоретический и практический интерес разработка агротехнических приемов, обеспечивающих максимальную активность симбиотической азотфиксации, повышающая урожайность и белковую продуктивность бобовых культур [8].

Современные сорта сои способны давать около 3,0 т зерна с гектара [1]. Но на практике решить эту проблему бывает довольно сложно. Одним из важнейших приемов является инокуляция семян сои азотфиксирующими бактериальными препаратами [6, 11].

Инокуляция семян бобовых культур бактериями, способных формировать на корнях свои клубеньки, является экологически безопасным и экономически выгодным методом повышения урожайности [2]. Использование бактериальных препаратов позволяет напрямую регулировать численность и активность полезной микрофлоры в ризосфере культурных растений, улучшать обеспеченность растений доступным азотом и тем самым увеличивать продуктивность растений, а также повышать качество продукции [5]. Биологическая азотфиксация, происходящая за счет клубеньков, образующихся на корнях, в определенной мере решает проблему охраны окружающей среды, предотвращая загрязнение подземных вод и водоемов окислами азота.

Материалы и методы. Исследования по возделыванию сои проводились в 2021-2022 гг. Высевался сорт Волгоградка 2 [9]. Посев осуществлялся во II декаде мая. Район исследования – зона светло-каштановых почв Волго-Донского междуречья. Полевые опыты закладывались на землях Всероссийского НИИ орошаемого земледелия. Схема опыта включала следующие варианты: исследовались два водных режима: дифференцированный не ниже 70-80-70 % НВ с глубиной увлажнения 0,4 и 0,6 м и поддержание предполивного порога влажности почвы не ниже 80 % НВ в слое 0,4 и 0,6 м (данный водный режим изучался А. А. Бекмаматовым при капельном поливе, а при дождевании требует дальнейшего изучения). На этих водных режимах изучались два варианта: 1. посев без инокуляции семян; 2. обработка семян инокулянтами баковой смесью препаратов – Геостим Фит Г 5-10 л/т, Импровер – 20 мл/т, Гелиос Супер – 1-2 л/т. Биологическая активность определялась путем закладки льняных полотен на глубину активного промачивания – 0,6 м (Васильев И. П., Туликов А. М., Баздырев Г. И., 2004). Результаты этой активности в последующем определялась послойно через 10 см и охватывала следующие слои почвы м.: 0,0-10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; 0,50-0,60 м. Полевые опыты закладывались согласно общепринятым методикам (Доспехов Б.А., 1985 и др.). Посев осуществлялся широкорядным способом с междурядьем 70 см, с нормой высева 600 тыс. шт./га семян, повторность опыта трехкратная, размещение делянок в опыте рендомизированное. Инокуляция семян биологическими препаратами проводилась во время посева. Почва опытного участка светло-каштановая, тяжелосуглинистая, характеризующаяся небольшой мощностью гумусового слоя (0,00–0,28 м, содержание гумуса 1,3–1,4%). Реакция почвенного раствора слабощелочная, рН

водной вытяжки 7,2–7,7. По содержанию элементов питания почвы отличаются низкой обеспеченностью азотом, средней – подвижным фосфором и повышенной – обменным калием. Плотность естественного сложения почвы в среднем для расчетных слоев 0–0,4 и 0–0,6 м составляет 1,38 и 1,43 т/м³, соответственно. Показатели порозности по слоям варьируют от 46,64 до 51,59%.

Результаты и обсуждение. Помимо наблюдений за разложением ткани полотна по профилю почвы, необходимо знать и динамику состояния полотен при проведении предпосевной инокуляции семян при разных водных режимах.

Таблица 1 – Динамика состояния полотен при закладке их на глубину 0,60 м в зависимости от предпосевной инокуляции семян и режимов орошения в среднем за 2021-2022 гг.

Table 1 – Dynamics of the canvases state when laying them to a depth of 60 cm, depending on inoculation and irrigation regimes, on average for 2021-2022

Вариан- ты опыта	Слой почвы, м	Средний вес полотна до закладки по слоям почвы, г	Вес полотна после закладки, г			Разница в весе полотна, г		
			15 су- ток	30 суток	45 суток	15 суток	30 суток	45 суток
70-80-70% НВ								
Без ино- куляции	0,0-0,20	3,50	3,12	1,90	0,95	0,38	1,60	2,55
	0,20-0,40	3,42	3,04	2,09	0,92	0,38	1,33	2,50
	0,40-0,60	3,28	2,92	2,00	0,89	0,36	1,28	2,39
	0,0-0,60	10,20	9,08	6,22	2,75	1,12	4,18	7,45
С иноку- ляцией	0,0-0,20	3,67	3,19	2,17	0,92	0,48	1,50	2,75
	0,20-0,40	3,63	3,12	2,14	0,91	0,51	1,49	2,72
	0,40-0,60	3,56	3,10	2,10	0,89	0,46	1,46	2,67
	0,0-0,60	10,86	9,45	6,41	2,72	1,41	4,45	8,14
80% НВ								
Без ино- куляции	0,0-0,20	4,25	3,70	2,51	1,15	0,55	1,74	3,10
	0,20-0,40	4,20	3,65	2,48	1,13	0,55	1,72	3,07
	0,40-0,60	4,15	3,61	2,45	1,12	0,53	1,70	3,03
	0,0-0,60	12,6	10,96	7,43	3,40	1,64	5,17	9,20
С иноку- ляцией	0,0-0,20	4,60	4,00	2,67	1,10	0,60	1,93	3,50
	0,20-0,40	4,35	3,78	2,52	1,04	0,57	1,83	3,31
	0,40-0,60	4,30	3,74	2,49	1,03	0,56	1,81	3,27
	0,0-0,60	13,25	11,53	7,69	3,18	1,72	5,56	10,07

Из данных таблицы 1 следует, что интенсивное разложение полотен проходило в пахотном горизонте 0,00-0,20 м. Разложение ткани шло наиболее интенсивно по трем выбранным интервалам содержания его в почве (15, 30 и 45 суток) в пахотном горизонте 0,00-0,20 м. Вторым по степени разложения является – подпахотный слой 0,20-0,40 м, причем такая тенденция прослеживается по всем трем срокам нахождения полотна и минимальное значение по разложению имел горизонт 0,40-0,60 м.

Общая картина состояния заложенного полотна была следующая: по мере нахождения полотна в почве его вес уменьшался по срокам экспозиции 15, 30, 45 суток и наибольшая разница в весе полотна достигалась к моменту нахождения его по профилю почвы на 45 суток с полным его разложением. Исходя из этого, полученные данные в динамике веса закладываемого полотна, позволяют говорить об интенсивности изменяемых весовых измерений.

Наименьшая потеря в весе полотна по исследуемому профилю до 0,60 м оказалась 7,45 г в варианте дифференцированного водного режима без проведения предпосевной инокуляции семян. На делянках с инокуляцией на перечисленном выше водном режиме разница с началом закладки полотен и их выкапыванием составила 8,14 г. При поддержании предполивного порога влажности почвы не ниже 80 % НВ в варианте без инокуляции семян разница в весе при 45 суточном нахождении полотна в почве составила 9,20 г. Наибольшая разница в весе 10,04 г., была получена в этом же варианте водного режима, но с инокуляцией семян.

Разница в весовых показателях ткани полотна позволяет судить о степени разложения биологическими объектами, находящимися в почве.

Таблица 2 – Степень разложения полотен на светло-каштановой почве по изучаемым факторам в среднем за 2021-2022 гг.

Table 2 – The degree of decomposition of canvases on light chestnut soil according to the studied factors on average for 2021-2022

Варианты опыта	Слой почвы, м	Разложение полотна, %			Средний % разложения полотна
		15 суток	30 суток	45 суток	
70-80-70% НВ					
Без инокуляции	0,0-0,20	10,86	45,71	72,86	43,12
	0,20-0,40	11,11	38,88	73,10	41,00
	0,40-0,60	10,98	39,02	72,87	40,96
	0,0-0,60	10,98	40,98	73,04	41,67
С инокуляцией	0,0-0,20	13,08	40,87	74,93	42,96
	0,20-0,40	14,05	41,05	74,93	43,34
	0,40-0,60	12,92	41,01	75,00	42,98
	0,0-0,60	12,98	40,98	74,95	42,97
80% НВ					
Без инокуляции	0,0-0,20	12,77	40,96	73,01	42,25
	0,20-0,40	12,94	40,94	72,94	42,27
	0,40-0,60	13,10	40,95	73,10	42,38
	0,0-0,60	13,02	41,03	73,02	42,36
С инокуляцией	0,0-0,20	13,04	41,96	76,09	43,70
	0,20-0,40	13,19	42,07	76,09	43,78
	0,40-0,60	13,02	42,09	76,05	43,78
	0,0-0,60	14,92	41,96	76,00	44,29

Указывая степень разложения полотна по существующим временным отрезкам (15, 30 и 45 суток), необходимо подчеркнуть, что интенсивность разложения при первом сроке определения колебалась от 11 до 13 %, при втором сроке определения средний процент разложения находился в интервале 39-42 % и третьем сроке – 73-76 %. Иными словами, процесс разложения полотна шел интенсивно в варианте с инокуляцией при водном режиме почвы 80 % НВ, который в среднем по горизонту 0,0-0,60 м достиг максимального уровня 44,29 %.

Полученные значения по разложению полотна в почве в вариантах наблюдения полностью коррелируются с полученной продуктивностью зерна сои по изучаемым факторам.

Рассматривая табл. 3 по действию предпосевной инокуляции семян сои на разных водных режимах за два года показывает, что урожайность мало отличалась между собой и в среднем по годам исследований колебалась от 1,43 т/га до 2,72 т/га. При этом четко были заметны различия по продуктивности при проведении инокуляции семян сои, которая при дифференцированном водном режиме составила 1,91 т/га зерна, а при постоянном доходила до 2,72 т/га зерна.

Таблица 3 – Влияние инокуляции на продуктивность сои при разных водных режимах за 2021-2022 гг.

Table 3 – Influence of inoculation on soybean productivity under different water regimes, 2021-2022

Варианты опыта	Урожайность, т/га		
	2021 г.	2022 г.	Среднее за 2 года
70–80–70% НВ			
Без инокуляции	1,44	1,42	1,43
Инокуляция	1,95	1,86	1,91
80% НВ			
Без инокуляции	2,15	2,14	2,15
Инокуляция	2,77	2,67	2,72

2021 г НСР₀₅ по фактору А – 0,13, НСР₀₅ по фактору В – 0,16, НСР₀₅ по фактору АВ – 0,16.
2022 г НСР₀₅ по фактору А – 0,12, НСР₀₅ по фактору В – 0,15, НСР₀₅ по фактору АВ – 0,15.

Все это сказалось должным образом на качественных показателях, полученного урожая зерна сои.

Таблица 4 – Основные качественные показатели зерна сои в зависимости от инокуляции и водных режимов за 2021-2022 гг.

Table 4 – The main quality indicators of soybean grain depending on inoculation and water regimes, 2021-2022

Варианты опыта	Нитраты, мг/кг	Н общ., %	Р, %	К, %	Зола, %	Ca ²⁺ , %	Mg ²⁺ , %	Гигровла, %	Сырой жир, %	Клетчатка, %
70–80–70% НВ										
Без инокуляции	92,17	5,09	0,75	2,0	5,44	0,20	0,27	5,41	19,05	8,11
Инокуляция	121,96	5,69	0,88	2,08	6,46	0,36	0,31	5,49	21,73	10,18
80% НВ										
Без инокуляции	143,01	5,09	0,80	2,03	6,19	0,36	0,29	5,41	19,32	9,95
Инокуляция	119,44	5,83	0,90	2,13	6,82	0,40	0,32	5,55	21,88	11,22

Данные таблицы 4 показывают положительное воздействие предпосевной инокуляции семян сои на качественные показатели зерна. При этом просматривается прямая корреляционная зависимость, состоящая в том, что более продуктивные варианты имеют лучшие качественные показатели. Так при поддержании предполивного порога влажности на уровне 80 % НВ в варианте без инокуляции семян значения общего азота были на уровне 5,09 %, сырого жира – 19,32 % и клетчатки – 9,95 %, в то время как семена, прошедшие инокуляцию, имели большие значения: 5,83 %; 21,98 %; 11,22 %, соответственно.

Заключение. Полученные результаты доказывают, что предпосевная инокуляция семян существенным образом влияет на биологическую активность почвенного комплекса. При этом лучшим водным режимом, следует считать поддержание предполивного порога влажности не ниже 80 % НВ, при котором вместе с инокуляцией семян сои достигнуты наивысшие показатели. Результаты биологической активности почвы полностью коррелируются с показателями продуктивности и качества полученного зерна. Так в среднем за два года лучшим оказался вариант поддержания предполивного порога влажности не ниже 80 % НВ с инокуляцией семян, который способствует получению 2,72 т/га с высокими показателями качества зерна.

Conclusions. The obtained results prove that the pre-sowing inoculation of seeds significantly affects the biological activity of the soil complex. At the same time, the best water regime should be considered to be the maintenance of a pre-irrigation moisture threshold of at least 80% HB, at which, together with the inoculation of soybean seeds, the highest indicators are achieved. The results of the biological activity of the soil are fully correlated with the indicators of productivity and quality of the obtained grain. So, on average for two years, the best option was to maintain a pre-irrigation moisture threshold of at least 80% HB with seed inoculation, which contributes to the production of 2.72 t/ha with high grain quality.

Библиографический список

1. Бондаренко А. Н. Влияние предпосевной обработки семян сои микробиологическими препаратами на формирование урожая в различных почвенных условиях Астраханской области. Аграрная Россия. 2014. № 7. С. 15-17.
2. Васильчиков А. Г., Акулов А. С. Поиск высокоэффективных инокулянтов для перспективных сортообразцов сои. Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». 2019. № 4 (32). С. 66-70.
3. Васильчиков А. Г., Семенов А. С., Зотиков В. И. Повышение урожайности новых сортов сои путем применения корректирующих подкормок. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (60). С. 15-20.
4. Кирсанова Е. В., Цуканова З. Р., Васильчиков А. Г., Чекалин Е. И. Оценка влияния инокуляции семян на урожайность сои в Орловской области. Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (67). С. 62–68.
5. Кокоев Х. П. Роль микробных биопрепаратов в повышении болезнеустойчивости и продуктивности растений сои. Известия Горского государственного аграрного университета. 2019. Т. 56. № 4. С. 56-62.
6. Манылова О. В., Жаркова С. В., Быков Е. С. Применение препарата Ризоторфин на посевах сои. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 7. С. 49-53.
7. Москвичев А. Ю., Агапова С. А. Отработка отдельных приемов в технологии возделывания зернобобовых культур в условиях Нижней Волги. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 96-103.
8. Новиков М. Н. Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах. Агрохимия. 2020. № 8. С. 60-69.
9. Тимохин А. Ю., Омелянюк Л. В., Бойко В. С. Влияние ризоторфина на развитие сортов сои селекции СибНИИСХ при орошении в южной лесостепи Западной Сибири. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2016. Вып. 3 (167). С. 53-58.
10. Толоконников В. В. Новый отзывчивый на орошение сорт сои Волгоградка 2. Орошаемое земледелие. 2017. № 4. С. 13-14.
11. Хамоков Х. А. Влияние сортовой специфичности и условий возделывания сои на симбиотическую деятельность посевов. Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 3–2. С. 63–66.
12. Шабалкин А. В., Дубинкина Е. А., Беляев Н. Н. Влияние обработки семян и вегетирующих растений сои микробиологическими удобрениями на урожайность и качество продукции в условиях Центрально-Черноземного региона. Аграрная Россия. 2020. № 9. С. 12–16.

13. Moretti L. G., Lazarini E., Bossolani J. W., et al. Can Additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield? *Agronomy*. 2018. Vol. 110. No 2. Pp. 715-721.
14. Farniev A. T. The role of biopreparations and their tank mixtures in increasing disease resistance and productivity of soybean. *Volga Region Farmland*. 2019. № 4 (4). Pp. 58-62.
15. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., et al. The influence of biostimulants and foliar fertilizers on the process of biological nitrogen fixation and the level of soil biochemical activity in soybean (*Glycine max* L.) cultivation. *Applied ecology and environmental research*. 2019. No 17 (5). Pp. 12649–12666.

References

1. Bondarenko A. N. Influence of pre-sowing treatment of soybean seeds with microbiological preparations on crop formation in various soil conditions of Astrakhan region. *Agrarian Russia*. 2014. № 7. Pp. 15-17.
2. Vasilchikov A. G., Akulov A. S. Search for highly effective inoculants for promising soybean varieties. *Scientific and production journal "Leguminous and cereal crops."* 2019. № 4 (32). Pp. 66-70.
3. Vasilchikov A. G., Semenov A. S., Zotikov V. I. Increasing the yield of new soybean varieties by using corrective feeds. *Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2020. № 4 (60). Pp. 15-20.
4. Kirsanova E.V., Tsukanova Z.R., Vasilchikov A.G., Chekalin E.I. Assessment of the effect of seed inoculation on soybean yield in the Oryol region. *Bulletin of the Oryol State Agrarian University*. 2017. № 4 (67). Pp. 62-68.
5. Kokoyev Kh. P. The role of microbial biologics in increasing disease resistance and productivity of soybean plants. *News of Gorsky State Agrarian University*. 2019. V. 56. № 4. Pp. 56-62.
6. Manylova O. V., Zharkova S. V., Bykov E. S. Use of Risotorfin on soybean crops. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019. № 7. Pp. 49-53.
7. Moskvichev A. Yu., Agapova S. A. Development of certain techniques in the technology of cultivating leguminous crops in the Lower Volga. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2022. № 3 (67). Pp. 96-103.
8. Novikov M. N. Biological techniques for the effective use of soil nitrogen, fertilizers, symbiotic nitrogen fixation in field agrocenoses. *Agrochemistry*. 2020. № 8. Pp. 60-69.
9. Timokhin A. Yu., Omelyanyuk L. V., Boyko V. S. The influence of risotorfin on the development of soybean varieties of the SibNIISH selection during irrigation in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Oilseeds. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds*. 2016. No 3 (167). Pp. 53-58.
10. Tolokonnikov V. V. A new soy variety responsive to irrigation Volgogradka 2. *Irrigated agriculture*. 2017. № 4. Pp. 13-14.
11. Khamokov H. A. Influence of varietal specificity and soybean cultivation conditions on symbiotic activity of crops. *Current trends in the development of science and technology*. 2015. № 3–2. Pp. 63-66.
12. Shabalkin A. V., Dubinkina E. A., Belyaev N. N. Influence of soy seeds and vegetating plants treatment with microbiological fertilizers on yield and product quality in the conditions of the Central Black Earth Region. *Agrarian Russia*. 2020. № 9. Pp. 12-16.
13. Moretti L. G., Lazarini E., Bossolani J. W., et al. Can Additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield? *Agronomy*. 2018. Vol. 110. No 2. Pp. 715–721.
14. Farniev A. T. The role of biopreparations and their tank mixtures in increasing disease resistance and productivity of soybean. *Volga Region Farmland*. 2019. № 4 (4). Pp. 58-62.
15. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., et al. The influence of biostimulants and foliar fertilizers on the process of biological nitrogen fixation and the level of soil biochemical activity in soybean (*Glycine max* L.) cultivation. *Applied ecology and environmental research*. 2019. No 17 (5). Pp. 12649–12666.

Информация об авторах

Москвичев Александр Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9309-2885>, e-mail: moskvichev56@bk.ru

Агапова Светлана Александровна, младший научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5159-6578>, e-mail: sveta-sxi@rambler.ru

Author's Information

Moskvichev Alexander Yurievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy pr., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9309-2885>, e-mail: moskvichev56@bk.ru

Agapova Svetlana Alexandrovna, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5159-6578>, e-mail: sveta-sxi@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-05

MINERAL NUTRITION IN SPRING BARLEY CROPS IN THE SOUTH OF RUSSIA

N. Y. Petrov, V. I. Filin, G. S. Egorova, I. A. Belyaev, O. G. Chamurliiev

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 15.09.2023

Submitted 30.11.2023

Introduction. The presented article is devoted to the problem of increasing the yield and quality of spring barley in the zone of chestnut soils. Along with this, the problem of preserving soil fertility was solved by using instead of granular mineral nutrition, processing seed material with biological preparations, as well as their work on the vegetation of barley. It was possible to establish that the applied agricultural approach had a positive effect on the agrochemical indicators of the soil and, as a result, this trend was reflected in the growth of yields. **Object.** The object of the survey was two varieties of spring barley recommended for cultivation in the Lower Volga region: Kamyshinsky 23 (control) and Novonikolaevsky. **Materials and methods.** In order to increase the yield and quality of spring barley grain, the seed material was processed with Crescin and Biohumus biologics. The above-mentioned preparations were used for vegetation treatment (Crescin), and were also introduced in an amount of 2.0 tons per hectare (Biohumus) for autumn tillage. **Results and conclusions.** The results of the three-year experiment showed that the processing of seed material, the work on vegetation and the introduction of biological preparations for the main treatment had a positive effect on the dynamics of the nutrient content in the chestnut zone. The content of nitrate nitrogen from seed treatment with biological preparations increased by 1.9...2.0 mg/100 g of soil (Crescin). By the end of the growing season, this difference reached 2.7...3.9 mg/100 g of soil. A similar dependence was maintained on the content of mobile phosphorus, if at the beginning of the tillering phase the difference from the control variant was 8.9 mg/100 g of soil, then by the end of the growing season this difference was 4.9 mg/100 g of soil. That is, in the initial periods of the growing season, barley needed more mobile phosphorus, so necessary for successful rooting, and in the future its consumption was moderate. As a result, the yield of spring barley in the Kamyshinsky 23 variety ranged from 1.79 t/ha (control) to 2.47 t/ha (Vermicompost). And in the Novonikolaevsky variety, these values, respectively, were equal to 1.89 and 2.54 t/ha.

Key words: *barley varieties, Kamyshinsky 23 variety, Novonikolaevsky variety, Biogumus, Krezatsin, mineral nutrition of barley.*

Citation. Petrov N. Yu., Filin V. I., Egorova G. S., Belyaev I. A., Chamurliiev O. G. Mineral nutrition in spring barley crops in the south of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 58-65. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-05.

Author's contribution. The authors of this study directly participated in the formulation of the program, the planning of the experiment, the accounting and analysis of the data obtained, in the presentation of conclusions and the formation of proposals to production. The authors of this article have studied and approved the final version of the article.

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

УДК 631.52:633.16

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ В ПОСЕВАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ЮГЕ РОССИИ**Н. Ю. Петров**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**В. И. Филин**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**Г. С. Егорова**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**И. А. Беляев**, соискатель**О. Г. Чамурлиев**, доктор сельскохозяйственных наук, профессорФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Представленная статья посвящена проблеме повышения урожайности и качества ярового ячменя в зоне каштановых почв. Наряду с этим решалась проблема сохранения плодородия почвы путем применения вместо гранулированного минерального питания, обработка семенного материала биопрепаратами, а также работа ими по вегетации ячменя. Удалось установить, что применяемый агроприем положительно влиял на агрохимические показатели почвы, и, как следствие, эта тенденция отразилась на росте урожайности. **Объект.** Объектом изыскания являлись два сорта ярового ячменя, рекомендованные к возделыванию в Нижневолжском регионе: Камышинский 23 (контроль) и Новониколаевский. **Материалы и методы.** С поиском путей роста урожайности и качественных величин зерна ярового ячменя осуществлялась обработка семенного материала биопрепаратами Крезцин и Биогумус. Вышеназванные препараты применялись для обработки по вегетации (Крезцин), а также вносились в количестве 2,0 тонны на гектар (Биогумус) под осеннюю обработку почвы. **Результаты и выводы.** Полученные результаты трехлетнего эксперимента показали, что обработка семенного материала, работа по вегетации и внесение биопрепаратов под основную обработку положительно отразились на динамике содержания питательных веществ в каштановой зоне. Содержание нитратного азота от обработки семян биопрепаратами повышалось на 1,9...2,0 мг/100 г почвы (Крезцин). К окончанию вегетации эта разница достигала 2,7...3,9 мг/100 г почвы. Аналогичная зависимость сохранялась и по содержанию подвижного фосфора, если на начало фазы кушения разница от контрольного варианта равнялась 8,9 мг/100 г почвы, то к окончанию вегетации эта разница составляла 4,9 мг/100 г почвы. То есть в начальные периоды вегетации ячменю больше требовалось подвижного фосфора, столь необходимого для успешного укоренения, а в дальнейшем его потребление было умеренное. В итоге урожайность ярового ячменя у сорта Камышинский 23 колебалась от 1,79 т/га (контроль) до 2,47 т/га (Биогумус). А у сорта Новониколаевский эти значения, соответственно, были равны 1,89 и 2,54 т/га.

Ключевые слова: сорта ячменя, сорт Камышинский 23, сорт Новониколаевский, Биогумус, Крезцин, минеральное питание ячменя.

Цитирование. Петров Н. Ю., Филин В. И., Егорова Г. С., Беляев И. А., Чамурлиев О. Г. Минеральное питание в посевах ярового ячменя на юге России. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 58-65. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-05.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Внедрение повсеместно интенсивных технологических процессов, существенное увеличение техногенной деятельности человека, которая началась со второй половине 20 века, значительным образом поспособствовали ухудшению окружающей природы и привели к нарушению самовосстановительных способов. В таких условиях получить высокий урожай ярового ячменя становится всё проблематичным, вследствие чего все большую значимость приобретает становление на путь биологизированного земледелия, составной частью которого выступают ресурсосберегающие технологии, суть которых заключается в получении экологически чистой продукцию, с наибольшей прибылью [3, 14].

Все это предопределяет сосредоточение и пристальное внимание на переход более дешевых и экологически безопасных препаратов, основанных на биологической основе. Для быстрого укоренения растений ярового ячменя на первоначальных этапах развития подвижного фосфора потреблялось в два раза больше, чем при ее окончании. Это говорит о том, что подвижный фосфор больше расходовался в начальные периоды с целью создания более мощной корневой системы, столь необходимой для аридной зоны возделывания ячменя. Они, совместно с росторегулирующими приемами, в значительной мере способны активизировать биологические реакции. Они способны ускорять протекание ростовых процессов, увеличивать стойкость растений к неблагоприятным погодным факторам, возбудителям вирусных, грибковых и бактериальных заболеваний. Определенной закономерностью существующих экологически безопасных веществ является специфическая активация защитных приемов в жизни растений [1, 10].

Биологические добавки, по механизму воздействия, при обработке семенного материала базируется на том, что с инокуляцией осуществляется искусственное занесение на поверхность зерна полезную микрофлору и микоризу. С высевом такого материала (обработанные добавками, грибами и бактериями) начинают активно репродуцировать и быстро захватывают ризосферу активно развивающегося растения. При сравнении с химическими протравителями, механизм воздействия биологических добавок на патогенную микрофлору, происходит значительно медленнее, поэтому подавление таковой происходит на 7...11 сутки после посева [4, 11].

Их целесообразность в значительной степени зависит от дозировки рабочей суспензии, в сравнение с обычно применяемыми протравителями семян, иногда это менее выражено. Но в отличие от химических протравителей, биологические добавки вызывают стимулирующее, пролонгированное действие на ростовые процессы растений, приводящие к росту урожая и получению продукции повышенного качества [2, 13].

Во время вегетационного развития растений действие биологических добавок обуславливается тем, что суспензия микрофлоры и продуктов их жизнедеятельности, попадающие на вегетативные части растения, позволяют регулировать жизненно важных процессы и защитно-приспособительные реакции [6].

Помимо защитных особенностей применяемые биопрепараты обладают стимулирующим эффектом, повышающим иммунитет и урожайность растений. Работа биопрепаратами по вегетирующим частям растений позволяет находить рычаги управления ферментативной деятельностью в растительных сообществах, жизнь которых протекает в постоянной взаимосвязи с окружающей средой. Микрофлора, находящаяся в рабочем растворе биопрепаратов, и продукты их жизнедеятельности, попадая на листовую поверхность, активизируют жизненно важные функции [7, 9].

Методика и материалы. Полевые опыты были проведены на полях КФХ «Чурбакова А. В» в 2021-2023 гг., расположенного в Быковском районе Волгоградского региона, на каштановых почвах. Размер опытной делянки составлял 7,2 м x 20,0 м = 144, м². Повторность в опыте была принята четырехкратная. Варианты опыта размещались по предшественнику паровая озимь. Расположение их было принято систематическое. Посев проводили в первой декаде апреля сеялкой СЗ– 3,6, при обязательном послепосевном прикатывании (кольчато-шпоровыми катками). Норма высева составляла 4,0 миллиона всхожих зерен на гектар. Обработывали посевной материал биологически активными добавками за трое суток до посева. После обработки проводили перемешивание семенного материала до приобретения семян сыпучести.

1. Контроль – без обработки;
2. Предпосевная обработка Крезацином 0,3...0,5 г/г; + обработка Крезацином в период кущения 4...6 г/га; + обработка Крезацином в период кущения-колошения 4...6 г/га;

3. Биогумус включал обработку семенного материала универсальной жидкой гуминово подкормкой «Айдар» (15 л водной суспензии 1:20 на 1 т семян) ПС-10А, внесение под основную обработку Биогумус – 2 т/га;

Биогумус включал агрохимическую характеристику: pH 7,2, наличие сухой органической массы 59%, гумуса 10%, общего азота – 1,4%, фосфора – 1,3, калия – 1,7, кальция – 4,8, магния – 0,9, железа – 0,4%, меди – 3,5 мг/кг, марганца – 56, цезия – 29 мг/кг, влажность 39%. Высевалось два сорта ярового ячменя; Камышинский 23 (контроль) и Новониколаевский.

Результаты и обсуждение. У ярового ячменя очень важно правильно и в оптимальные сроки применять биопрепараты. Корневая система ярового ячменя отличается меньшей поглотительной способностью, чем, например, рожь, овес.

В наших исследованиях применялись биопрепараты нового поколения. Обработку проводили не только посевного материала, но и работали ими по вегетации, а также вносили под основную обработку почвы. При проведении обработок опытных вариантов изучаемыми биопрепаратами, наблюдалось их определенное воздействие на ростовые процессы культуры, вследствие изменения питательного режима почвы. Результаты исследования представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Динамика нитратного азота в посевах ярового ячменя, пахотный горизонт 0,00...0,22 м, мг/100 г почвы, среднее за 2021...2023 гг.

Table 1 – Nitrate nitrogen dynamics in spring barley crops, arable horizon 0.00...0.22 m, mg/100 g of soil, average for 2021...2023

Сорт Variety	Агрономический фон Agronomic background	Период развития Period of development		
		кущение tillering	колошение earring	после уборки after harvesting
Камышинский 23 Kamyshinsky 23	Контроль Control	18,3	16,1	8,7
	Крезацин Krezacin	20,2	19,4	11,4
	Биогумус Vermicompost	21,4	20,5	12,5
Новониколаевский Novonikolaevsky	Контроль Control	18,0	15,4	8,1
	Крезацин Krezacin	21,0	20,3	10,8
	Биогумус Vermicompost	22,5	21,2	11,3

Полученные результаты трехлетнего эксперимента показали, что предпосевная обработка, работа по вегетации (Крезацин) и внесение биопрепаратов (Биогумус) под основную обработку положительно отразились на динамике наличия питательных веществ в каштановой зоне. Содержание нитратного азота от обработки семян биопрепаратами повышалось на 1,9...2,0 мг/100 г почвы (Крезацин). К окончанию вегетации эта разница достигала 2,7...3,9 мг/100 г почвы. Причем на вариантах с применением биопрепаратов потребление нитратного азота и подвижного фосфора было выше, чем на контрольном варианте. Зависимость по соотношению сохранялась и подвижного фосфора: если на начало фазы кущения разница от контрольного варианта равнялась 8,9 мг/100 г почвы, то к окончанию вегетации эта разница составляла 4,9 мг/100 г почвы, то есть в начальные периоды вегетации ячменю больше требовалось подвижного фосфора, столь необходимого для успешного укоренения, а в дальнейшем его потребление было умеренное.

Таблица 2 – Динамика подвижного фосфора в посевах ярового ячменя, пахотный горизонт 0,00...0,22м, мг/100г почвы, среднее за 2021...2023 гг.

Table 2 – Dynamics of mobile phosphorus in spring barley crops, arable horizon 0.00...0.22 m, mg/100g of soil, average for 2021...2

Сорт Variety	Агрономический фон Agronomic background	Период развития Period of development		
		кущение tillering	колошение earring	после уборки after harvesting
Камышинский 23 Kamyshinsky 23	Контроль Control	60,5	45,6	22,7
	Крезацин Krezacin	69,4	52,3	27,6
	Биогумус Vermicompost	71,6	53,8	28,4
Новониколаевский Novonikolaevsky	Контроль Control	61,2	46,2	21,9
	Крезацин Krezacin	70,4	53,9	25,4
	Биогумус Vermicompost	72,0	55,1	27,1

Таблица 3 – Зависимость урожайности ярового ячменя от изучаемого агроприема, т/га, среднее за 2021...2023 гг.

Table 3 – Dependence of the yield of spring barley on the studied agricultural intake, t/ha, average for 2021...2023

№, п/п	Агрофон Agrophone	Камышинский 23 Kamyshinsky 23	Новониколаевский Novonikolaevsky
1	Контроль Control	1,79	1,89
2	Крезацин Krezacin	2,30	2,40
3	Биогумус Vermicompost	2,47	2,54

Урожайность есть результирующий показатель изучаемого агроприема. Динамика соотношения и потребления основных элементов питания отразилась и на величине урожайности ярового ячменя. Прибавка урожайности от варианта без применения биопрепаратов составляла у сорта Камышинский 23 от 0,51 (Крезацин) до 0,68 (Биогумус) т/га. У сорта Новониколаевский эта динамика представляла от 0,51 (Крезацин) до 65 т/га (Биогумус).

Заключение. Следовательно, на основании проведенного эксперимента можно сделать вывод, что сорт Новониколаевский был более отзывчив на применение биопрепаратов по сравнению с сортом Камышинский 23. Максимальная урожайность ярового ячменя складывалась при применении биопрепарата Биогумус, урожайность достигала в аридной зоне 2,54 т/га.

Conclusions. Consequently, based on the experiment, we can conclude that the Novonikolaevsky variety was more responsive to the use of biologics than the Kamyshinsky 23 variety. The maximum yield of spring barley consisted of the use of Biogumus biologics, the yield reached 2.54 t/ha in the arid zone.

Библиографический список

1. Авдеев А. А., Тихонов Н. И. Современное состояние производства ячменя. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2015. № 1 (37). С. 61-66.

2. Алабушев А. В., Яценко В. А., Попов А. С. Урожайность и качество зерна сортов ячменя ярового в восточной зоне Ростовской области. Зерновое хозяйство России. 2017. № 3 (51). С. 3-5.
3. Бурунов А. Н., Васин В. Г., Михалкин Н. Г. Показатели фотосинтеза ячменя и урожайность при комплексном применении удобрений и стимуляторов роста. Известия Самарской государственной академии. 2021. Выпуск № 4. С. 3-9.
4. Васин В. Г., Бурунов А. Н., Новиков А. В. Продуктивность яровой пшеницы и ячменя при применении удобрений и стимуляторов роста. Вестник Уральской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 20-25.
5. Глуховцев В. В., Санина Н. В., Апаликов А. А. Использование листовых подкормок в технологии возделывания ярового ячменя в аридных условиях Среднего Поволжья. Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 1. С. 9-11.
6. Замятин С. А., Максимов В. А., Бариева Н. Н. Действие гербицидов и биопрепаратов на засоренность посевов и урожайность ячменя и пшеницы. Аграрная наука. 2015. № 2. С. 15-18.
7. Митрофанов Д. В., Ткачева Т. А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 84-97.
8. Анисков Н. И. и др. Оценка адаптивной способности сортов ярового ячменя селекции СибНИИСХ в условиях Сибирского Прииртышья. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (24). С. 5-9.
9. Плескачев Ю. Н., Воронов С. И., Грабов Р. С. Совершенствование системы основной обработки при возделывании ярового ячменя. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 88-95.
10. Сурин Н. А. и др. Полевая оценка перспективного селекционного материала ячменя и овса в Приенисейской Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2015. № 2. С. 14-16.
11. Воронов С. И., Зволинский В. П., Плескачев Ю. Н., Грабов Р. С. Роль приемов основной обработки почвы при возделывании ярового ячменя. Земледелие. 2020. № 2. С. 24-26.
12. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Характеристика основных параметров среды, урожайность и адаптивная способность сортов ярового ячменя. Достижения науки и техники АПК. 2015. № 2. С. 17-20.
13. Шевченко С. Н., Бишарев А. А. Результаты селекции ярового ячменя в Самарском НИИСХ. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. № 4-3. С. 592-595.
14. Hudzenko V. M. et al. Assessment of ecological stability in yield for breeding of spring barley cultivars with increased adaptive potential. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. No. 3. Pp. 425-430.
15. Dawson I. K., Russell J., Powell W. et al. Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytol. 2015. Vol. 206. Pp. 913-931.
16. Abteu W. G. et al. Ethiopian barley landraces show higher yield stability and comparable yield to improved varieties in multi-environment field trials. Plant Breed. Crop Sci. 2015. No. 8. Pp. 275-291.
17. Mudarisov S. G., Gabitov J. F., Lobacnevsky Y. P. et al. Nodelug the tehnological process of tillage. Soils tillage research. 2019. V. 190. Pp. 70-77.
18. Tokhetova L. A., Akhmedova G. B., Akzhunis R. A. The use of multivariate factor analysis in the selection of spring barley for adaptability to various environmental conditions. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. No. 4 (107). Pp. 70-80.

References

1. Avdeev A. A., Tikhonov N. I. Current state of barley production. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex. 2015. No. 1 (37). Pp. 61-66.
2. Alabushev A. V., Yatsenko V. A., Popov A. S. Yield and grain quality of spring barley varieties in the eastern zone of the Rostov region. Grain Economy of Russia. 2017. No. 3 (51). Pp. 3-5.

3. Burunov A. N., Vasin V. G., Mikhalkin N. G. Indicators of photosynthesis of barley and yield with the integrated use of fertilizers and growth stimulants. Proceedings of the Samara State Academy. 2021. Issue No. 4. Pp. 3-9.
4. Vasin V. G., Burunov A. N., Novikov A. V. Productivity of spring wheat and barley when using fertilizers and growth stimulants. Bulletin of the Ural State Agricultural Academy. 2020. No. 1. Pp. 20-25.
5. Glukhovtsev V. V., Sanina N. V., Apalikov A. A. The use of foliar fertilizers in the technology of cultivating spring barley in the arid conditions of the Middle Volga region. Russian Agricultural Science. 2016. No. 1. Pp. 9-11.
6. Zamyatin S. A., Maksimov V. A., Barieva N. N. The effect of herbicides and biological products on crop weeds and the yield of barley and wheat. Agrarian Science. 2015. No 2. Pp. 15-18.
7. Mitrofanov D. V., Tkacheva T. A. Impact of agrometeorological conditions, mineral fertilizers, precursors and soil moisture on the grain yield of spring barley in the steppe zone of the Southern Urals. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2021. No 4 (64). Pp. 84-97.
8. Aniskov N. I. et al. Assessment of the adaptive ability of spring barley varieties bred by Siberian Research Institute of Agriculture in the conditions of the Siberian Irtysh region. Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2016. No 4 (24). Pp. 5-9.
9. Pleskachev Yu. N., Voronov S. I., Grabov R. S. Improvement of the main processing system when cultivating spring barley. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2020. No 1 (57). Pp. 88-95.
10. Surin N. A. et al. Field assessment of promising breeding material for barley and oats in the Yenisei Siberia. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. No 2. Pp. 14-16.
11. Voronov S. I., Zvolinsky V. P., Pleskachev Yu. N., Grabov R. S. The role of basic tillage techniques in the cultivation of spring barley. Agriculture. 2020. No 2. Pp. 24-26.
12. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Characteristics of the main environmental parameters, yield and adaptive ability of spring barley varieties. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. No 2. Pp. 17-20.
13. Shevchenko S. N., Bisharev A. A. Results of selection of spring barley at the Samara Research Institute of Agriculture. News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015. No 4-3. Pp. 592-595.
14. Hudzenko V. M. et al. Assessment of ecological stability in yield for breeding of spring barley cultivars with increased adaptive potential. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. No 3. Pp. 425-430.
15. Dawson I. K., Russell J., Powell W. et al. Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytol. 2015. Vol. 206. Pp. 913-931.
16. Abteu W. G. et al. Ethiopian barley landraces show higher yield stability and comparable yield to improved varieties in multi-environment field trials. Plant Breed. Crop Sci. 2015. No 8. Pp. 275-291.
17. Mudarisov S. G., Gabitov J. F., Lobacnevsky Y. P. et al. Nodelug the tehnological process of tillage. Soils tillage research. 2019. V. 190. Pp. 70-77.
18. Tokhetova L. A., Akhmedova G. B., Akzhunis R. A. The use of multivariate factor analysis in the selection of spring barley for adaptability to various environmental conditions. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. No 4 (107). Pp. 70-80.

Информация об авторах

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Технология перерабатывающих и пищевых производств», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Филин Валентин Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Земледелия и агрохимия», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Егорова Галина Сергеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Почвоведение и общая биология», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Беляев Иван Александрович, соискатель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Чамурлиев Омарий Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой «Земледелия и агрохимия», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

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, 40002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Filin Valentin Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26).

Egorova Galina Sergeevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Science and General Biology, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26).

Belyaev Ivan Aleksandrovich, applicant, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26).

Chamurliев Omari Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-06

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF SPRING BARLEY YIELD FORMATION IN THE CHESTNUT SOIL ZONE OF THE VOLGOGRAD REGION

V. I. Filin, N. Yu. Petrov, G. S. Egorova, I. A. Belyaev, E. N. Efremova

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 15.09.2023

Submitted 30.11.2023

Introduction. The presented article reflects the problem of increasing the yield of spring barley in an acutely arid zone, as well as issues of the quality of produced products suitable for processing for cereal purposes. Ways are being considered to significantly solve the problem of increasing productivity. Therefore, along with the use of the calculated amount of mineral nutrition, pre-sowing treatment of seeds with biological products is proposed, as well as their combined use with mineral nutrition. Joint treatment of seeds with biological preparations and the calculated addition of mineral nutrition determine more optimal conditions for the development of soil biota. This ultimately has a positive effect on the yield of spring barley. **Object.** The object of the experiment was the spring barley varieties: Kamyshinsky 23 (control) and Novonikolaevsky, which are included in the register for the Lower Volga region. **Materials and methods.** The experience was laid during 2021...2023 on the land use of the peasant farm "Churbakov A.V." in the Bykovsky district of the Volgograd region. To obtain a given level of yield of spring barley, we calculated the rates of mineral nutrition for formation: 1.0 t/ha; 2.0 and 4.0 t/ha. The estimated number of fertilizers was applied fractionally: all phosphorus fertilizers were applied for the main treatment. Nitrogen: 50% in autumn and 50% in spring for pre-sowing cultivation. **Results and conclusions.** The experiment showed that seed treatment before sowing led to an increase in barley yield of about 20%. The biological product Biohumus proved to be the best. The average increase in yield over three years from the option without seed treatment ranged from 0.68 t/ha for the Kamyshinsky 23 variety to 0.65 t/ha for the Novonikolaevsky variety. The greatest effect was observed in the variant of combined use of mineral nutrition and seed treatment with a biological preparation (Biohumus +N50P22), the yield varied between varieties from 3.32 t/ha for the Kamyshinsky 23 variety to 3.61 t/ha for the Novonikolaevsky variety.

Key words: *barley variety Kamyshinsky 23, barley variety Novonikolaevsky, biohumus, Krezatsin, mineral nutrition of barley.*

Citation. Filin V. I., Petrov N. Yu., Egorova G. S., Belyaev I. A., Efremova E. N. Technological aspects of Spring Barley Yield Formation in the Chestnut Soil Zone of the Volgograd Region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 65-72. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-06.

Author's contribution. The authors of this study were directly involved in setting up the program, planning the experiment, recording and analyzing the data obtained, presenting conclusions and forming proposals for production. The authors of this article have reviewed and approved the final version of the article.

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

УДК 631.52:633.16

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗОНЕ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОГО РЕГИОНА

В. И. Филин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Н. Ю. Петров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Г. С. Егорова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
И. А. Беляев, соискатель
Е. Н. Ефремова, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Представленная статья отражает проблему повышения урожайности ярового ячменя в остросасушливой зоне, а также вопросы качества произведенной продукции, пригодной для переработки на крупяные цели. Рассматриваются пути, позволяющие существенным образом решать проблему роста урожайности. Поэтому, наряду с применением расчетного количества минерального питания, предлагается предпосевная обработка семян биопрепаратами, а также комбинированное их совместное использование с минеральным питанием. Совместная обработка семян биопрепаратами и расчетное внесение минерального питания определяют более оптимальные условия для развития почвенной биоты. Это в конечном итоге положительно отражается на формировании урожайности ярового ячменя. **Объект.** В качестве объекта эксперимента были выбраны сорта ярового ячменя: Камышинский 23 (контроль) и Новониколаевский, которые включены в реестр по Нижневолжскому региону. **Материалы и методы.** Опыт закладывался в течение 2021...2023 года на землепользовании КФХ «Чурбаков А. В.» Быковского района Волгоградского региона. Для получения заданного уровня урожайности ярового ячменя нами были рассчитаны нормы внесения минерального питания на формирование: 1,0 т/га; 2,0 и 4,0 т/га. Расчетное число удобрений вносилось дробно: все фосфорные удобрения были внесены под основную обработку. Азот: 50% осенью и 50% весной под предпосевную культивацию. **Результаты и выводы.** Проведенный опыт показал, что обработка семян перед посевом приводила к росту урожайности ячменя порядка 20%. С наилучшей стороны проявил себя биопрепарат Биогумус. Прирост урожайности в среднем за три года составил от варианта без обработки семенного материала от 0,67 т/га у сорта Камышинский 23 до 0,64 т/га у сорта Новониколаевский. Максимальная урожайность наблюдалась на варианте комплексного применения минерального питания и обработки семенного материала биопрепаратом (Биогумус +N₅₀P₂₂), урожайность изменялась между сортами от 3,32 т/га у сорта Камышинский 23 до 3,61 т/га у сорта Новониколаевский.

Ключевые слова: *сорт ячменя Камышинский 23, сорт ячменя Новониколаевский, биогумус, Крезацин, минеральное питание ячменя.*

Цитирование. Филин В. И., Петров Н. Ю., Егорова Г. С., Беляев И. А., Ефремова Е. Н. Технологические аспекты формирования урожайности ярового ячменя в зоне каштановых почв Волгоградского региона. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 65-72. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-06.

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. По объемам засеваемых площадей яровой ячмень довольно прочно удерживает четвертое место в мировом производстве. По данным Международной организации по продовольствию и питанию (ФАО) Российская Федерация занимает одно из ведущих мест – высевается 10 миллионов гектар [3, 11]. Из других стран площади ячменем заняты в Канаде – 4,0 млн. гектар, Испании – 3,1, США – 2,3, Франции – 1,8 млн. гектар. В Волгоградском регионе под яровым ячменем в 90 – х годах прошлого столетия засевалось от 0,70 до 1,5 миллионов гектар. В настоящее время площади под яровым ячменем необоснованно снизились и занимают, от года от 0,5 до 0,6 миллионов гектар [1, 9].

Урожайность ячменя в мире в среднем составляет 2,3 т/га, в Российской Федерации – 1,3, во Франции 6,4, в Германии – 5,2 т/га. Соответственно, в Волгоградском регионе в 90 годах она составляла – 0,52...1,83 т/га, на современном этапе она повысилась до 2,08 т/га [5, 12].

В связи с диспаритетом закупочных цен на производимую продукцию и цен на минеральные удобрения, включая средства защиты растений, многие товаропроизводители стали отказаться от их использования, что повлекло снижение урожайности и падению плодородия почвы. В то же время важнейшей задачей АПК России становится получение более высоких и гарантированных урожайностей данной культуры для полного удовлетворения потребностей страны в продуктах питания и промышленном сырье [4, 10].

Материалы и методы. Программа применения минерального питания состояла из назначения запланированного уровня урожайности ячменя. Расчетное внесение осуществлялось на заданную урожайность по методике, которая была разработана на Опытной станции по программированию урожая (профессор В. И. Филин) Волгоградского СХИ.

Для получения 1 тонны ячменя необходимо: азота – 25 кг, фосфора – 10 кг, калия 15 кг. В итоге следует применять:

- 1,00 т/га азота – 26,0 кг/га, фосфора – 11,0 кг/га, калия – 16,0 кг/га. С учетом коэффициента возмещения – азота – 26,0, фосфора – 11,1, калия 21,4.

- 2,00 т/га – азота – 52,0 кг/га, фосфора – 22,0 кг/га, калия – 3,02 кг/га. С учетом коэффициента возмещения – азота – 52,0 фосфора – 22,2, калия – 42,8.

- 4,00 т/га – азота – 104,0 кг/га, фосфора – 40,0 кг/га, калия – 60,0 кг/га. С учетом коэффициента возмещения – азота – 104,0, фосфора – 44,4, калия – 85,6.

Так содержание обменного калия в изучаемой каштановой почве высокое, принято решение калийные удобрения не применять.

1. Контроль – без обработки;

2. Крезацин

3. Крезацин+ N₂₅P₁₁

4. Крезацин+ N₅₂P₂₂

5. Крезацин+ N₁₀₄P₄₄

6. Биогумус

7. Биогумус+ N₂₅P₁₁

8. Биогумус+ N₅₂P₂₂

9. Биогумус+ N₁₀₄P₄₄

Расчетное число удобрений вносилось дробно: все фосфорные удобрения были внесены под основную обработку. Азот: 50% осенью и 50% весной под предпосевную культивацию.

Результаты и обсуждение. Все ростовые процессы тесно взаимосвязаны друг с другом. Грамотное их использование и сочетание с урожаеобразующими факторами, с учетом биологических возможностей ярового ячменя можно эффективно воздействовать на формирование урожайности и качества зерна. Особое внимание следует уделять его корневой системе, которая, что характерно для ранних яровых культур, слабо ветвится и неглубоко размещается в основном пахотном горизонте, тем самым. Особенно четко это проявляется в ответственный период – налив зерна. Это связано несомненно с тем, что довольно частые суховеи и высокие температурные значения окружающего воздуха во время интенсивного роста, приводит к существенному иссушению верхнего пахотного горизонта, в итоге корневая система ячменя постоянно нуждается в обеспечении ее потребным количеством воды и в конкретный период.

Одним из ведущих факторов, которые обуславливают формирования урожая высоко качественного, есть повышение степени обеспеченности минеральным питанием культуры, за счет обработки семян биопрепаратами и внесения минерального питания. Опыты, проведенные с использованием биопрепаратов далеко не новы. По материалам отечественных и зарубежных исследований, обработка семян биопрепаратами перед посевом, а также во время вегетации благоприятствует улучшению развития корневой системы и ассимилирующей поверхности, повышает полевую всхожесть, выживаемость растений, урожайность и качество производимой продукции.

Яровой ячмень более чувствителен к нехватке элементов питания. Недостаток этих элементов способствует дисбалансу азотного и углеводного обмена, синтезированию белковых веществ, падению устойчивости растений к аридным факторам среды, воздействию высоких и низких температур и заболеваниям различными видами сухой пятнистости, головни, фузариозу и т.д. Результат проведенных опытов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость урожайности ярового ячменя от изучаемых факторов, т/га
Table 1 – Dependence of spring barley yield on studied factors, t/ha

Сорт	Вариант	Год исследования			Среднее
		2021	2022	2023	
Камышинский 23	Контроль	1,59	2,03	1,76	1,79
	Крезацин	2,05	2,69	2,18	2,30
	Крезацин +N ₂₅ P ₁₁	2,53	3,07	2,61	2,73
	Крезацин +N ₅₂ P ₂₂	2,96	3,42	3,08	3,15
	Крезацин +N ₁₀₄ P ₄₄	2,71	3,26	2,86	3,04
	Биогумус	2,28	2,81	2,34	2,47
	Биогумус +N ₂₅ P ₁₁	2,61	3,22	2,79	2,87
	Биогумус +N ₅₂ P ₂₂	3,07	3,63	3,28	3,32
	Биогумус +N ₁₀₄ P ₄₄	2,94	3,47	3,12	3,17
Новониколаевский	Контроль	1,70	2,15	1,84	1,89
	Крезацин	2,17	2,75	2,30	2,40
	Крезацин +N ₂₅ P ₁₁	2,73	3,20	2,97	2,96
	Крезацин +N ₅₂ P ₂₂	3,44	3,81	3,65	3,63
	Крезацин +N ₁₀₄ P ₄₄	3,16	3,68	3,31	3,38
	Биогумус	2,26	2,98	2,40	2,54
	Биогумус +N ₂₅ P ₁₁	3,02	3,39	3,17	3,19
	Биогумус +N ₅₂ P ₂₂	3,41	3,84	3,58	3,61
	Биогумус +N ₁₀₄ P ₄₄	3,29	3,74	3,46	3,49

Анализ представленного материала говорит о том, что на вариантах без применения удобрений и обработки биопрепаратами семян урожайность складывалась от 1,79 т/га, среднее значение за три года, у сорта Камышинский 23 до 1,89 т/га у сорта Новониколаевский. Среди изучаемых вариантов выделился вариант с обработкой семян биопрепаратом Биогумус. При обработке семян биопрепаратом Крезацин продуктивность между сортами изменялась от 2,30 т/га, в среднем за три года у сорта Камышинский 23 до 2,40 т/га у сорта Новониколаевский. При обработке семян биопрепаратом Биогумус значения урожайности, соответственно, составляли 2,47 и 2,54 т/га. С лучшей стороны показала себя совместная обработка семян биопрепаратом Биогумус с применением N₅₂P₂₂. Продуктивность на этом варианте равнялась у сорта Камышинский 23 – 3,32 т/га, у сорта Новониколаевский – 3,61 т/га. Дальнейшее повышение дозирования вносимых удобрений до N₁₀₄P₄₄ не приводило к росту урожайности. Здесь напрямую сказался первый лимитирующий фактор – влагообеспеченность. Из трех изучаемых лет наилучшие погодные условия в период вегетации ярового ячменя складывались в 2022 году, затем 2023 год, и менее всего по агрометеорологическим условиям выделялся 2021.

Заключение. Проведенный эксперимент показал, что обработка семенного материала современными биопрепаратами положительно отражается на динамике роста урожайности. Прибавка урожайности изучаемых сортов составляла: 0,51 т/га у сорта Камышинский 23 и у сорта Новониколаевский. Максимальная прибавка урожайности отмечалась на варианте Биогумус + N₅₂P₂₂, у сорта Камышинский 23 она составляла 1,53 т/га, а у сорта Новониколаевский – 1,72 т/га. Следовательно, товаропроизводителям можно рекомендовать для возделывания сорт Новониколаевский с обработкой семян перед посевом биопрепаратом Биогумус на фоне внесения N₅₂P₂₂.

Conclusions. The experiment showed that the treatment of seed material with modern biologics has a positive effect on the dynamics of yield growth. The yield increase between the varieties studied was 0.51 t/ha in the Kamyshinsky 23 variety and in the Novonikolaevsky variety. The maximum yield increase was noted on the version Biogumus + N₅₂P₂₂, in the Kamyshinsky 23 variety it was 1.53 t/ha, and in the Novonikolaevsky variety – 1.72 t/ha. Consequently, producers can be advised to cultivate the Novonikolaevsky variety with seed treatment before sowing with Biogumus biologics against the background of N₅₂P₂₂.

Библиографический список

1. Амоако О. А. Урожайность и технологические показатели зерна ярового ячменя в зависимости от приемов агротехники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3 (31). С. 119-123.
2. Бугаев П. Д., Ламмас М. Е. Фотосинтетическая деятельность посевов ячменя при применении химических и биологических препаратов. Кормопроизводство. 2013. № 8. С. 11-13.
3. Осипова Л. В. и др. Влияние абиотических стрессов на растения ярового ячменя при предпосевной обработке семян селеном и кремнием. Агрохимия. 2015. № 9. С. 54-60.
4. Глуховцев В. В., Санина Н. В., Апаликов А. А. Использование листовых подкормок в технологии возделывания ярового ячменя в аридных условиях Среднего Поволжья. Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 1. С. 9-11.
5. Замятин С. А., Максимов В. А., Бариева Н. Н. Действие гербицидов и биопрепаратов на засоренность посевов и урожайность ячменя и пшеницы. Аграрная наука. 2015. № 2. С. 15-18.
6. Митрофанов Д. В., Ткачева Т. А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 84-97.
7. Анищев Н. И. и др. Оценка адаптивной способности сортов ярового ячменя селекции СибНИИСХ в условиях Сибирского Прииртышья. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (24). С. 5-9.

8. Сурин Н. А. и др. Оценка коллекционных образцов ярового ячменя в селекции на продуктивность и качество зерна в условиях Восточной Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2018. № 5. С. 41-44.

9. Столпивская Е. В. и др. Оценка селекционного материала ярового ячменя по параметрам экологической пластичности. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. № 2-4. С. 692-695.

10. Плескачев Ю. Н., Воронов С. И., Грабов Р. С. Совершенствование системы основной обработки при возделывании ярового ячменя. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 88-95.

11. Сурин Н. А. и др. Полевая оценка перспективного селекционного материала ячменя и овса в Приенисейской Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2015. № 2. С. 14-16.

12. Радюкевич Т. Н., Бондарева Л. М., Карташева Л. И. Оценка новых коллекционных образцов ячменя по хозяйственно-ценным признакам в условиях Северо-Запада России. Пермский аграрный вестник. 2018. № 4 (24). С. 76-82.

13. Радюкевич Т. Н., Бондарева Л. М., Лашина Н. М. Изучение коллекции ярового ячменя для целей селекции на северо-западе России. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 2 (55). С. 16-22.

14. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Характеристика основных параметров среды, урожайность и адаптивная способность сортов ярового ячменя. Достижения науки и техники АПК. 2015. № 2. С. 17-20.

15. Шевченко С. Н., Бишарев А. А. Результаты селекции ярового ячменя в Самарском НИИСХ. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. № 4-3. С. 592-595.

16. Hudzenko V. M. et al. Assessment of ecological stability in yield for breeding of spring barley cultivars with increased adaptive potential. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. No 3. Pp. 425-430.

17. Dawson I. K., Russell J., Powell W. et al. Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytol. 2015. V. 206. Pp. 913-931.

18. Abteu W. G. et al. Ethiopian barley landraces show higher yield stability and comparable yield to improved varieties in multi-environment field trials. Plant Breed. Crop Sci. 2015. No 8. Pp. 275-291.

19. Tokhetova L. A., Akhmedova G. B., Akzhunis R. A. The use of multivariate factor analysis in the selection of spring barley for adaptability to various environmental conditions. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. No 4 (107). Pp. 70-80.

References

1. Amoako O. A. Productivity and technological indicators of spring barley grain depending on agricultural techniques. Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversitetskogo kompleks: science and higher professional education. 2013. No 3 (31). Pp. 119-123.

2. Bugaev P. D., Lammas M. E. Photosynthetic activity of barley crops in the application of chemical and biological preparations. Fodder production. 2013. No 8. Pp. 11-13.

3. Osipova L. V. et al. The influence of abiotic stresses on spring barley plants during pre-sowing treatment of seeds with selenium and silicon. Agrochemistry. 2015. No 9. Pp. 54-60.

4. Glukhovtsev V. V., Sanina N. V., Apalikov A. A. The use of leaf fertilizing in the technology of cultivation of spring barley in arid conditions of the Middle Volga region. Russian agricultural science. 2016. No 1. Pp. 9-11.

5. Zamyatin S. A., Maksimov V. A., Barieva N. N. The effect of herbicides and biological preparations on the contamination of crops and the yield of barley and wheat. Agrarian Science. 2015. No 2. Pp. 15-18.

6. Mitrofanov D. V., Tkacheva T. A. The impact of agrometeorological conditions, mineral fertilizers, precursors and soil moisture on the yield of spring barley grain in the steppe zone of the Southern Urals. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education. 2021. No 4 (64). Pp. 84-97.

7. Aniskov N. I. et al. Assessment of the adaptive ability of spring barley varieties of SibNIISC breeding in the conditions of the Siberian Irtysh region. Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2016. No 4 (24). Pp. 5-9.
8. Surin N. A. et al. Evaluation of collection samples of spring barley in breeding for productivity and grain quality in conditions of Eastern Siberia. Achievements of science and technology of agroindustrial complex. 2018. No 5. Pp. 41-44.
9. Stolpivskaya E. V. et al. Evaluation of breeding material of spring barley by parameters of ecological plasticity. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. No 2-4. Pp. 692-695.
10. Pleskachev Yu. N., Voronov S. I., Grabov R. S. Improvement of the basic processing system in the cultivation of spring barley. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education. 2020. No 1 (57). Pp. 88-95.
11. Surin N. A. et al. Field assessment of promising breeding material of barley and oats in Yenisei Siberia. Achievements of science and technology of the Agroindustrial complex. 2015. No 2. Pp. 14-16.
12. Radyukevich T. N., Bondareva L. M., Kartasheva L. I. Evaluation of new collection samples of barley according to economically valuable characteristics in the conditions of the North-West of Russia //Perm Agrarian Bulletin. 2018. No 4 (24). Pp. 76-82.
13. Radyukevich T. N., Bondareva L. M., Lashina N. M. Studying the collection of spring barley for breeding purposes in the North-West of Russia. Izvestia of St. Petersburg State Agrarian University. 2019. No 2 (55). Pp. 16-22.
14. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Characteristics of the main parameters of the environment, yield and adaptive ability of spring barley varieties. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. No 2. Pp. 17-20.
15. Shevchenko S. N., Bisharev A. A. Results of spring barley breeding in Samara Research Institute. Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015. No 4-3. Pp. 592-595.
16. Hudzenko V. M. et al. Assessment of ecological stability in yield for breeding of spring barley cultivars with increased adaptive potential. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. No 3. Pp. 425-430.
17. Dawson I. K., Russell J., Powell W. et al. Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytol. 2015. V. 206. Pp. 913-931.
18. Abteu W. G. et al. Ethiopian barley landraces show higher yield stability and comparable yield to improved varieties in multi-environment field trials. Plant Breed. Crop Sci. 2015. No 8. Pp. 275-291.
19. Tokhetova L. A., Akhmedova G. B., Akzhunis R. A. The use of multivariate factor analysis in the selection of spring barley for adaptability to various environmental conditions. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. No 4 (107). Pp. 70-80.

Информация об авторах

Филин Валентин Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Земледелия и агрохимия», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

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

Егорова Галина Сергеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Почвоведение и общая биология», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Беляев Иван Александрович, соискатель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Ефремова Елена Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология производства и экспертиза товаров», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: elenalob@rambler.ru

Author's Information

Filin Valentin Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26).

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

Egorova Galina Sergeevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Science and General Biology, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26).

Belyaev Ivan Aleksandrovich, applicant, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26).

Efremova Elena Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Production Technology and Examination of Goods," Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: elenalob@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-07

SOIL WATER REGIME AND WATER CONSUMPTION OF SOYBEAN DEPENDING ON THE BASIC SOIL TILLAGE UNDER IRRIGATION CONDITIONS OF THE VOLGOGRAD REGION

O. G. Chamurliiev, A. N. Sidorov, G. O. Chamurliiev, S. M. Grigorov, V. C. Soghomonyan

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: attika.ge@yandex.ru

Received 11.10.2023

Submitted 02.12.2023

Summary

Introduction. The increasing need for protein and oil of plant origin as the most important products for humans and components of the feed rations of animals and poultry, as well as a component of the pharmaceutical and other industries, determines the relevance of research aimed at optimizing soybean cultivation technology, which contributes to obtaining a guaranteed yield of grain beans with economical consumption of resources. **Purpose of research.** The purpose of these studies is to develop optimal irrigation regimes and methods of soil cultivation for soybeans, which will ensure high and sustainable yields with the rational use of material, water, and energy resources. **Object.** The object of the study was the early soybean variety VNIIOZ – 86. **Materials and methods.** The research was carried out at the experimental site of the NODP “Innovation Village” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volgograd State Agrarian University. In accordance with the stated goal and objectives of the study, a field experiment scheme was developed. Factor A is the method of basic tillage, includes 3 options: A1 – moldboard processing to a depth of 0.25-0.27 m (control), A2 – non-mouldboard processing to a depth of 0.25-0.27 m, A3 – processing with disks to a depth of 0.10-0.12 m. Factor B – irrigation mode based on the pre-irrigation threshold of soil moisture in a layer of 0-0.6 m includes 3 options: B1 – 60% NV, B2 – 70% NV, B3 – 80% NV. Moldboard cultivation was carried out with a plow PN – 4 – 35, non-moldboard – OMPO-5.6; disk – BDT – 3. The plots were arranged in repetitions using a systematic method with three repetitions in time and space. The area of the experimental plots is 400 m² (factor A) and 400 m² (factor B), and 220 m² for harvest recording. The object of the study was the early variety VNIIOZ – 86. The previous crop was spring barley, for which deep moldboard plowing of 0.25 – 0.27 was used as the main soil treatment. Following the harvesting of barley, disc peeling was carried out at a depth of 0.8 – 0.10 m, after which vegetation irrigation was carried out at a rate of 400 m³/ha for better germination of weeds for the purpose of their further destruction. **Results and conclusions.** The total water consumption of soybeans increased with an increase in the level of pre-irrigation moisture and varied depending on the main soil cultivation from 4277 – 4543 m³/ha in the irrigation mode of 60 % NV, 4487 – 4672 m³/ha in the irri-

gation mode of 70 % NV and 4726 – 4858 m³/ha at irrigation mode 80 % NV. The best option for saving irrigation water is option A2 B2, the value of which in comparison with the control was 170 m³/ha. The minimum amount of water for evaporation by soybean plants was used during the sowing – germination period (248 – 263 m³/ha) and in the bean ripening phase (201 – 245 m³/ha). The maximum is during the period “branching – beginning of flowering” and “flowering – beginning of bean formation” – “formation – beginning of bean filling” and amounts to more than 60 % of the total water consumption during the growing season. The most efficient use of water resources is in option A2 B2, where 1574 m³ was used to form 1 ton of soybean grain. Depending on the water regime, the difference was 842 m³/t, and on the method of main soil cultivation – 226 m³/t.

Key words: soil main tillage, soybean irrigation modes, soybean water consumption coefficient, soybean cultivation.

Citation. Chamurliev O. G., Sidorov A. N., Chamurliev G. O., Grigorov S. M., Sogomonyan V. K. Soil water regime and water consumption of soybeans depending on the main tillage under irrigation conditions in the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 72-81. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-07.

Author's contribution. All the authors mentioned in this article were directly involved in the research and processing of the data obtained. All authors are familiar with the submitted final version and approved it.

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

УДК 631.671:633.34(470.45)

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ СОИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПРИ ОРОШЕНИИ В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. Г. Чамурлиев, директор НИИ, доктор сельскохозяйственных наук

А. Н. Сидоров, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук

Г. О. Чамурлиев, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук

С. М. Григоров, профессор, доктор технических наук

В. К. Согомонян, аспирант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Усиливающаяся потребность в белке и масле растительного происхождения как важнейших продуктах для человека и составляющих кормового рациона животных и птицы, а также как компонента фармацевтической и других отраслей определяет актуальность исследований, направленных на оптимизацию технологии возделывания сои, способствующей получению гарантированного урожая зернобобовых при экономном потреблении ресурсов.

Цель исследований. Целью данных исследований является разработка оптимальных режимов орошения и способов обработки почвы под сою, которые обеспечат получение высоких и устойчивых урожаев при рациональном использовании материальных, водных, а также энергетических ресурсов. **Объект.** Объектом исследования был ранний сорт сои ВНИИОЗ – 86. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном участке ООО "СП Орошаемое" Среднеахтубинского района Волгоградской области. В соответствии с поставленной целью и задачами исследования была разработана схема полевого опыта. Фактор А – способ основной обработки почвы, включает 3 варианта: А1 – отвальная обработка на глубину 0,25-0,27 м (контроль), А2 – безотвальная обработка на глубину 0,25-0,27 м, А3 – обработка дисками на глубину 0,10-0,12 м. Фактор В – режим орошения по предполивному порогу влажности почвы в слое 0-0,6 м включает 3 варианта: В1 – 60 % НВ, В2 – 70 % НВ, В3 – 80 % НВ. Отвальная обработка осуществлялась плугом ПН – 4 – 35, безотвальная – ОМПО-5,6; дисковая – БДТ – 3. Делянки по повторениям располагались систематическим методом при трехкратном повторении во времени и в пространстве. Площадь опытных делянок – 400 м² (фактор А) и 400 м² (фактор В), и 220 м² – для учета урожая. Объектом исследования был ранний сорт ВНИИОЗ – 86. Предше-

ствующей культурой являлся яровой ячмень, под который в качестве основной обработки почвы применялась глубокая отвальная вспашка на 0,25 – 0,27 м. Вслед за уборкой ячменя провели дисковое лушение на 0,08 – 0,10 м, после чего осуществили вегетационный полив нормой 400 м³/га для лучшего прорастания сорных растений с целью их дальнейшего уничтожения. **Результаты и выводы.** Суммарное водопотребление сои повышалось с увеличением уровня предполивной влажности и изменялось в зависимости от основной обработки почвы от 4277 – 4543 м³/га на режиме орошения 60 % НВ, 4487 – 4672 м³/га на режиме орошения 70 % НВ и 4726 – 4858 м³/га на режиме орошения 80 % НВ. Лучшим вариантом по экономии поливной воды является вариант А2 В2, величина которой в сравнении с контролем составила 170 м³/га.

Минимальное количество воды на испарение растениями сои использовано в период «посев – всходы» (248 – 263 м³/га) и в фазу «созревание бобов» (201 – 245 м³/га). Максимальное – в период «ветвление – начало цветения» и «цветение – начало формирования бобов» - «формирование – начало налива бобов» и составляет более 60 % от общих затрат воды за вегетацию.

Наиболее эффективно водные ресурсы используются на варианте А2 В2, где на формирование 1 т. зерна сои израсходовано 1574 м³. В зависимости от водного режима разница составила 842 м³/т, а от способа основной обработки почвы – 226 м³/т.

Ключевые слова: обработка почвы, режимы орошения сои, коэффициент водопотребления сои, возделывание сои.

Цитирование. Чамурлиев О. Г., Сидоров А. Н., Чамурлиев Г. О., Григоров С. М., Согомонян В. К. Водный режим почвы и водопотребление сои в зависимости от основной обработки почвы в условиях орошения Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 72-81. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-07.

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. На территории Российской Федерации соя является малораспространенной культурой и занимает суммарно в посевах около 750 тыс. га. Как правило, большая площадь под посевы сои сосредоточены на Дальнем Востоке (около 87 %), гораздо меньше этот показатель на Северном Кавказе (около 11 %) и совсем незначительный в Поволжье (около 1 %). Согласно данным службы государственной статистики в Волгоградской области посевные площади сои занимают от площади всех посевов менее 0,25 % [3, 5, 9].

Семена сои накапливают 37 – 42 % белка, содержание масла – 19...22 %, до 30 % доходит насыщенность сои углеводами, а неорганических веществ содержится в пределах 4,5...6,8 %, в основе которых К, Р, Са. Надземная масса, скошенная в фазу налива бобов, содержит 16...18 % белка и богата углеводами и витаминами.

Не менее важна и агротехническая значимость сои как культуры, фиксирующей азот (до 250 кг/га), снижающей содержание фитопатогенной флоры и токсичность почвы [1, 2, 4, 11].

Исследования показывают, что запашка измельченной соевой соломы (в среднем 2,0 т/га) заменяет внесение 9,0...10,0 т/га навоза [6, 7].

Вышеперечисленные характеристики сои и объясняют повышенный интерес к ней в последнее время. Сдерживающим фактором её распространения в Волгоградской области являются снижение площадей регулярного орошения, низкая культура земледелия и недостаточная технология выращивания [8, 12].

Материалы и методы. В соответствии с поставленной целью и задачами исследования была разработана схема полевого опыта.

Схемой опыта предусмотрено изучение двух факторов:

Фактор А – способ основной обработки почвы, включает 3 варианта:

- А1 – отвальная обработка на глубину 0,25-0,27 м (контроль),
- А2 – безотвальная обработка на глубину 0,25-0,27 м,
- А3 – обработка дисками на глубину 0,10-0,12 м.

Фактор В – режим орошения по предполивному порогу влажности почвы в слое 0-0,6 м включает 3 варианта:

- В1 – 60 % НВ,
- В2 – 70 % НВ,
- В3 – 80 % НВ.

Отвальная обработка осуществлялась плугом ПН – 4 – 35, безотвальная – ОМПО-5,6; дисковая – БДТ – 3.

Делянки по повторениям располагались систематическим методом при трехкратном повторении во времени и в пространстве. Площадь опытных делянок – 400 м² (фактор А) и 400 м² (фактор В), и 220 м² – для учета урожая.

Объектом исследования был ранний сорт ВНИИОЗ – 86. Предшествующей культурой являлся яровой ячмень, под который в качестве основной обработки почвы применялась глубокая отвальная вспашка на 0,25 – 0,27 м. Вслед за уборкой ячменя провели дисковое лушение на 0,08 – 0,10 м, после чего осуществили вегетационный полив нормой 400 м³/га для лучшего прорастания сорных растений с целью их дальнейшего уничтожения.

Осенью были заложены разные способы обработки почвы, предусмотренные программой научных исследований. Отвальная обработка осуществлялась плугом ПН – 4 – 35; безотвальная – ОМПО -5,6; дисковая – БДТ – 3. Под основную обработку внесены рекомендованные под сою полные нормы фосфорных и калийных удобрений – Р₉₀К₆₀ килограммов по действующему веществу. Количество вносимых удобрений определялось по методике В.И. Филина [10].

Весенние работы включали несколько технологических операций: покровное боронование зубowymi боронами в два следа; две культивации, включающие обработку на 0,10 – 0,12 м и последующую под посев сои на 0,04 – 0,06 м. При проведении первой культивации внесли азотные удобрения нормой N₉₀ кг действующего вещества, а под предпосевную культивацию – почвенный гербицид «Ирвин» дозой 3 л/га.

Посев семян сои провели на глубину 0,06 м, когда температура почвы в этом слое составила 12 – 14 °С. Посев проводили в следующие календарные сроки: в 2021 г. – 20 мая, в 2022 г. – 17 мая. Норма высева составила 450 тыс/га всхожих семян. Оросительная вода подавалась на опытный участок ДМ «WESTERN». Поливы назначались для слоя 0 – 0,6 м в соответствии с принятой программой научных исследований. Убирали сою прямым комбайнированием по делянкам опыта.

Результаты и обсуждение. Программой научных исследований к изучению были поставлены три варианта допустимого снижения предполивной влажности почвы. Поливы назначались при достижении нижнего порога в слое почвы (0,6 м) до 60 % НВ (вариант В1), 70 % НВ (вариант В2) и 80 % НВ (вариант В3). Все варианты по режимам орошения размещались по способам основной обработки почвы (А1...А3). Учитывая показатели водно-физических свойств почвы, глубину промачивания и предполивной порог влажности, были рассчитаны поливные нормы, величина которых составила для варианта 60% НВ (В1) – 650, 70% НВ (В2) – 450 и 80% НВ (В3) – 300 м³/га.

Проведение наибольшего количества поливов понадобилось на варианте с поддержанием предполивного порога 80 % НВ (В3). За вегетацию сои было дано 10 поливов по всем изучаемым способам обработки почвы. При этом оросительная норма на варианте отвальной обработки (А1) составила 3400 м³/га, на варианте безотвальной обработки (А2) – 3304 м³/га и на обработке дисками (А3) составило 3420 м³/га.

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 4(72), 2023

Таблица 1 – Поливной режим сои, 2021-2022 гг.

Table 1 – Soybean irrigation regime, 2021-2022

Номер полива	B1		B2		B3	
	Норма полива, м³/га	Оросительная норма, м³	Норма по- лива, м³/га	Оросительная норма, м³	Норма полива, м³/га	Оросительная норма, м³
A1						
1	740	2950	530	3160	340	3400
2	738		533		350	
3	735		535		335	
4	737		530		337	
5			525		332	
6			507		352	
7					345	
8					342	
9					337	
10					330	
A2						
1	710	2830	510	3040	330	3304
2	708		511		327	
3	705		508		335	
4	707		506		340	
5			508		337	
6			497		333	
7					328	
8					323	
9					328	
10					323	
A3						
1	755	3010	540	3200	345	3420
2	752		538		345	
3	750		535		350	
4	753		530		341	
5			530		332	
6			527		340	
7					345	
8					335	
9					344	
10					343	

Поддержание предполивного порога влажности 70 % НВ (В2) осуществлялось подачей 6 поливов. При этом суммарный объём поданной воды на варианте с отвальной обработкой (А1) составил 3160 м³/га, на безотвальной обработке (А2) – 3040 м³/га и на обработке дисками (А3) 3200 м³/га.

Нижний порог увлажнения 60 % НВ (В1) потребовал проведения 4 поливов оросительной нормой – 2950 м³/га на варианте отвальной обработки почвы (А1,) на варианте безотвальной обработки (А2) – 2830 м³/га и на обработке дисками (А3) – 3010 м³/га.

Необходимо особо подчеркнуть, что предполивной порог увлажнения по безотвальным обработкам наступал на 1 – 3 дня позже, чем на варианте с отвальной обработкой.

Таким образом, поливной режим сои в значительной степени изменялся под влиянием атмосферных осадков, заданного порога увлажнения и способов основной обработки почвы.

Таблица 2 – Составляющие баланса воды, 2021-2022 гг.

Table 2 – Components of water balance, 2021-2022

Фактор А	Фактор В	Элементы водного баланса			Суммарный расход воды, м ³ / га
		Оросительная норма	Атмосферные осадки	Использовано запасов влаги из почвы	
А ₁	В ₁	2950 / 61,0	1260/ 32,7	243 /6,3	4453
	В ₂	3160 / 63,4	1260 / 30,8	221 / 5,4	4641
	В ₃	3400 / 67,1	1260 / 28,9	175/ 4,0	4835
А ₂	В ₁	2830 / 60,2	1260 / 34,0	212/ 5,7	4277
	В ₂	3040 / 62,9	1260 / 32,3	187 / 4,8	4487
	В ₃	3304 / 66,0	1260 / 30,0	162 / 3,9	4726
А ₃	В ₁	3010 / 60,5	1260/ 32,4	273 /7,0	4543
	В ₂	3200 / 64,0	1260 / 30,8	212/ 5,2	4672
	В ₃	3420 /67,1	1260 / 28,8	178 /4,1	4858

В таблице 2 наглядно представлены численные значения водного баланса и эвапотранспирации растений сои за вегетацию.

Из представленных материалов видно, что главным составляющим баланса воды являются поливы, доля которых в среднем за 2021-2022 гг. на жестком режиме орошения 60 % НВ составляла от 60,2 до 61 %. Осадки занимали от 32,4 до 32,7 %. Потребление влаги растениями сои из почвы не превышает 5,7-7,0 %.

Как следствие, повышение нижнего порога увлажнения до 70 % НВ увеличивает потребление оросительной воды в общей структуре водопотребления. Величина её колебалась от 62,9 до 64,0 %. При этом удельная доля атмосферных осадков в общем балансе снизилась от 30,8 до 32,3 %. Использование влаги почвы изменилось от 4,8 до 5,4%.

Аналогичная закономерность прослеживается на варианте увлажнения 80 % НВ. По изучаемым вариантам основной обработки почвы доля оросительной воды изменилась от 66,0 до 67,1 %; атмосферных осадков от 28,8 % – до 30,0 % и воды из почвы – 3,9 до 4,1 % соответственно.

Таблица 3 – Коэффициент водопотребления, 2021-2022 гг.

Table 3 – Water consumption coefficient, 2021-2022

Варианты предполивной влажности почвы, (% НВ)		Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т
I	II			
А1	60	4453	1,94	2295
	70	4641	2,66	1744
	80	4835	2,62	1845
А2	60	4277	2,02	2117
	70	4487	2,85	1574
	80	4726	2,76	1712
А3	60	4543	1,88	2416
	70	4672	2,62	1783
	80	4858	2,58	1882

В таблице 3 приведены данные, свидетельствующие о существенном варьировании коэффициентов водопотребления в зависимости от водного режима и способов основной обработки почвы. Низкая эффективность использования водных ресурсов отмечена на фоне поддержания нижнего порога увлажнения на уровне 60 % НВ (вариант В1). Для формирования 1 тонны зерна сои потребовалось в среднем 2276 м³/т. Повышение уровня предполивной влажности до 70 % НВ снизило эти показатели до 1700 м³/т, а при поддержании нижнего порога увлажнения 80 % НВ – 1813 м³/т соответственно.

При этом экономия поливной воды на формирование единицы продукции составила на режиме орошения с поддержанием нижнего порога увлажнения на уровне 70 % НВ – 25,3 % или 576 м³/т. Повышение нижнего порога увлажнения до 80 % НВ также способствовало более эффективному потреблению водных ресурсов, но в несколько меньшей степени. Показатели коэффициента водопотребления были ниже, чем на варианте 60 % НВ на 20,3 % или 463 м³/т.

Сравнительный анализ эффективности использования водных ресурсов посевами сои в зависимости от способа основной обработки показывает преимущество безотвальной обработки на глубину 0,25 – 0,27 в сравнении с другими вариантами и контрольной обработкой – отвальной на глубину 0,25 – 0,27 м. Здесь коэффициент водопотребления был самым низким и в среднем составил в зависимости от режима увлажнения – 1574 м³/т против 1744 м³/т на контроле. Экономия воды составила 170 м³/т или 9,7 %.

Следовательно, проведенные исследования свидетельствуют о том, что наиболее эффективно водные ресурсы использовались при поддержании нижнего порога увлажнения на уровне 70 % НВ на фоне безотвальной обработки почвы на глубину 0,25 – 0,27 м (вариант А2 В2), где коэффициент водопотребления был самым низким и составил 1574 м³/т, что ниже аналогичного варианта на контроле на 9,7 %.

Выводы. Суммарное водопотребление сои повышалось с увеличением уровня предполивной влажности и изменялось в зависимости от основной обработки почвы от 4277 – 4543 м³/га на режиме орошения 60 % НВ, 4487 – 4672 м³/га на режиме орошения 70 % НВ и 4726 – 4858 м³/га на режиме орошения 80 % НВ. Лучшим вариантом по экономии поливной воды является вариант А2 В2, величина которой в сравнении с контролем составила 170 м³/га.

Минимальное количество воды на испарение растениями сои использовано в период «посев – всходы» (248 – 263 м³/га) и в фазу «созревание бобов» (201 – 245 м³/га). Максимальное – в период «ветвление – начало цветения» и «цветение – начало формирования бобов» – «формирование – начало налива бобов» и составляет более 60 % от общих затрат воды за вегетацию.

Наиболее эффективно водные ресурсы используются на варианте А2 В2, где на формирование 1 т зерна сои израсходовано 1574 м³. В зависимости от водного режима разница составила 842 м³/т, а от способа основной обработки почвы – 226 м³/т.

При возделывании раннего сорта сои ВНИИОЗ – 86 на зерно для получения урожайности на уровне 2,0...3,0 т/га в условиях орошения на светло-каштановых почвах Волгоградской области рекомендуется:

- поддерживать предполивной порог влажности почвы на уровне 70 % НВ в слое почвы 0,6 м;
- проводить безотвальную обработку почвы на глубину 0,25 – 0,27 м, позволяющую получать урожайность сои на уровне 2,85 т/га с уровнем рентабельности 220 %.

Conclusions. The total water consumption of soybeans increased with an increase in the level of pre-water humidity and changed depending on the main soil cultivation from 4277 – 4543 m³/ha in the irrigation mode of 60% HW, 4487 – 4672 m³/ha in the irrigation mode of 70% HW and 4726 – 4858 m³/ha in the irrigation mode of 80% HW. The best option for saving irrigation water is the option of А2 V2, the value of which compared to the control was 170 m³/ha.

The minimum amount of water for evaporation by soybean plants was used during the "sowing – seedling" period (248-263 m³/ha) and during the "ripening of beans" phase (201-245 m³/ha). The maximum – during the period "branching – the beginning of flowering" and "flowering – the beginning of the formation of beans" – "formation – the beginning of the filling of beans" and accounts for more than 60% of the total water consumption per vegetation.

The most efficient water resources are used on option A2 B2, where 1574 m³ was used to form 1 ton of soybean grain. Depending on the water regime, the difference was 842 m³/t, and from the method of basic tillage – 226 m³/t.

When cultivating an early variety of VNIOZ soybeans – 86 per grain to obtain a yield of 2.0... 3.0 t/ha in irrigation conditions on light chestnut soils of the Volgograd region, it is recommended:

- maintain the pre-active threshold of soil moisture at the level of 70% HB in the soil layer 0.6 m;
- carry out reclaimed soil treatment to a depth of 0.25 – 0.27 m, which allows to obtain soybean yield at the level of 2.85 t/ha with a profitability level of 220%.

Библиографический список

1. Галиченко А. П., Фокина Е. М. Влияние метеорологических условий на формирование урожайности сортов сои селекции ВНИИ сои. Аграрный вестник Урала. 2022. № 7 (222). С. 16-25.
2. Ибрагимова З. Ш. Влияние засухи на водный режим в листьях образцов сои. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2 (46). С. 59-65.
3. Кошкарлова Т. С., Толоконников В. В., Канцер Г. П., Плющева Н. М. Влияние различных сортов и режимов орошения на биоэнергетическую эффективность производства сои. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 192-198.
4. Лытов М. Н. Особенности формирования водного режима почвы при разных уровнях водообеспечения сои в условиях орошения. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 3 (35). С. 31-49.
5. Москвичев А. Ю., Агапова С. А. Инокуляция семян и предуборочная десикация – важный элемент увеличения продуктивности сои при разных режимах орошения на светлосланцевой почве Нижней Волги. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 91-100.
6. Мухаметханова С. С., Толоконников В. В., Канцер Г. П., Плющева Н. М. Сортные особенности водопотребления сои. Орошаемое земледелие. 2021. № 3. С. 19-22.
7. Пешкова В. О., Лукашунас Ю. А., Суркова И. В. Выбор режима орошения для обеспечения устойчивых урожаев сои в сухостепном Поволжье. Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 4-7.
8. Толоконников В. В., Канцер Г. П., Кошкарлова Т. С., Чамурлиев Г. О. Продуктивность сортов сои при различных режимах орошения. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 343-352.
9. Толоконников В. В., Вронская Л. В., Мухаметханова С. С., Канцер Г. П. Рост урожайности сортов сои и эффективности применения удобрения в условиях орошения. Орошаемое земледелие. 2022. № 2. С. 24-27.
10. Чамурлиев Г. О., Толоконников В. В., Чамурлиев О. Г. Соя при орошении в Нижнем Поволжье. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2018. 156 с.
11. Аманова Ш. С., Раимбаева Н. Т. Соя бұршақтарын көктеудің соя ұнының аминқышқылды құрамына және өнімнің тағамдық құндылығына әсері. Вестник Алматинского технологического университета. 2018. № 1. С. 7-10.
12. Kozak D. K., Acid phosphatase activity in seeds of zoned soybean varieties of amur breeding and various wild soybean lines. Chronos. 2022. V. 7. № 4 (66). Pp. 102-103.

References

1. Galichenko A. P., Fokina E. M. The influence of meteorological conditions on the formation of the yield of soybean varieties of selection of VNII soybeans. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. № 7 (222). Pp. 16-25.

2. Ibragimova Z. Sh. Impact of drought on the water regime in the leaves of soybean samples. Leguminous and cereal crops. 2023. № 2 (46). Pp. 59-65.
3. Koshkarova T. S., Tolokonnikov V. V., Kanzer G. P., Plyushcheva N. M. The influence of various varieties and irrigation regimes on the bioenergetic efficiency of soybean production. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 3 (55). Pp. 192-198.
4. Lytov M. N. Features of the formation of the water regime of the soil at different levels of water supply of soybeans in irrigation conditions. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems. 2019. № 3 (35). Pp. 31-49.
5. Moskvichev A. Yu., Agapova S. A. Seed inoculation and pre-harvesting desiccation is an important element in increasing soybean productivity in different irrigation modes on the light chestnut soil of the Lower Volga. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 1 (69). Pp. 91-100.
6. Mukhametkhanova S. S., Tolokonnikov V. V., Kanzer G. P., Plushcheva N. M. Varietal features of soybean water consumption. Irrigated agriculture. 2021. № 3. Pp. 19-22.
7. Peshkova V. O., Lukashunas Yu. A., Surkova I. V. Choice of irrigation regime to ensure stable soybean yields in the dry-steppe Volga region. Reclamation and water management. 2021. № 5. Pp. 4-7.
8. Tolokonnikov V. V., Kanzer G. P., Koshkarova T. S., Chamurliiev G. O. Productivity of soybean varieties under various irrigation modes. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2020. V. 15. № 4. Pp. 343-352.
9. Tolokonnikov V. V., Vronskaya L. V., Mukhametkhanova S. S., Kanzer G. P. Increase in the yield of soybean varieties and the effectiveness of fertilizer use in irrigation conditions. Irrigated agriculture. 2022. № 2. Pp. 24-27.
10. Chamurliiev G. O., Tolokonnikov V. V., Chamurliiev O. G. Soy during irrigation in the Lower Volga region. Volgograd: Volgograd GAU, 2018. 156 p.
11. Amanova Sh. S., Raimbayeva N. T. Effect of soy bean calcination on the amino acid composition of soy flour and nutritional value of the product. Bulletin of Almaty Technological University. 2018. № 1. Pp. 7-10.
12. Kozak D. K., Acid phosphatase activity in seeds of zoned soybean varieties of amur breeding and various wild soybean lines. Chronos. 2022. V. 7. № 4 (66). Pp. 102-103.

Информация об авторах

Чамурлиев Омарий Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, директор НИИ, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: attika.ge@yandex.ru

Сидоров Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: sash-ka2008@mail.ru

Чамурлиев Георгий Омариевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: giorgostsamourlidis@mail.ru

Григоров Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), gsm.dtn@mail.ru

Согомонян Владислав Камоевич, аспирант ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: sog.vladis@yandex.ru

Author's Information

Chamurliiev Omary Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Director of Research Institute, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Av., 26), e-mail: attika.ge@yandex.ru

Sidorov Aleksander Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Av., 26), e-mail: sash-ka2008@mail.ru

Chamurliov Georgy Omarievich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Av., 26), e-mail: gior-gostsamourlidis@mail.ru

Grigorov Sergey Mikhailovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Av., 26), gsm.dtn@mail.ru

Sogomonyan Vladislav Kamoevich, graduate student of Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Av., 26), e-mail: sog.vladis@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-08

POTATO BREEDING ACCORDING TO ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS FOR THE CONDITIONS OF THE NORTH CAUCASUS REGION

A. H. Abazov¹, S. S. Basiev², M. D. Gazdarov², A. I. Sarbasheva¹

¹*Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the
Russian Academy of Sciences*

Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation

²*Gorsky State Agrarian University*

Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Received 17.07.2023

Submitted 10.10.2023

Abstract

Introduction. Under the conditions of sanctions and import substitution, the main task facing the staff of scientific institutions is to develop new competitive varieties and hybrids of agricultural plants. In this regard, as part of the participation in the implementation of a comprehensive scientific and technical project (2018-2025), together with the industrial partner of LLC "Zolsky Potato", employees of the Gorsky State Agrarian University and the Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences are conducting research on potato breeding and seed production in the conditions of vertical zonality of the Central Caucasus. **The research materials** are varieties and hybrids of potatoes of domestic and foreign selection. All records and observations were carried out according to the methods of VNIKH, VIR and VISR. **The purpose** of these studies is to derive a highly productive potato genotype with a complex of economically valuable traits, high plasticity and resistance to pathogenic organisms. The passage of all stages of the selection process is a condition and guarantee of a high probability of obtaining the predicted result. **Results and conclusions.** In the course of scientific work, it was revealed that the indicator of the number of ovaries formed is not in correlation with the indicator of the number of seeds formed in one berry, and the overall effectiveness of hybridization is a feature of the combination of parent pairs and depends on natural and climatic conditions. In the nursery of the competitive test of the 2nd year in 2021, hybrids 13.61/104, 13.61/102 and 13.61/101 were identified (Table 4), exceeding the standard (Zhukovsky early) and, which showed yields in the range of 37.1-41.4 t/ha, marketability – 94.8–96.6%, weight of commercial tuber – 84.4-95.0 g. Hybrids of this nursery are highly resistant to major diseases. Average yield of hybrids of the 3rd year competitive test 12.58/212, 10.11/1044, 10.11/716 it was noted at the level of 40.9, 46.2, 42.8 t/ha, respectively. These indicators significantly exceed the results of the standard grade (in the range of 40.5 – 58.4%).

Key words: potato selection, potato hybridization, potato genotypes, potato yield, potato marketability.

Citation. Abazov A. H., Basiev S. S., Gazdarov M. Dz., Sarbasheva A. I. Potato breeding according to economically valuable characteristics for the conditions of the North Caucasus region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 81-93. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-08.

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

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

УДК 635.21:631.527

**СЕЛЕКЦИЯ КАРТОФЕЛЯ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ
ДЛЯ УСЛОВИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА****А. Х. Абазов¹**, кандидат сельскохозяйственных наук**С. С. Басиев²**, доктор сельскохозяйственных наук**М. Дз. Газдаров²**, кандидат сельскохозяйственных наук**А. И. Сарбашева¹**, старший научный сотрудник¹Институт сельского хозяйства – филиал

ФГБНУ ФНЦ «Кабардино-Балкарский научный центр РАН»

г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Горский государственный аграрный университет

г. Владикавказ, Республика Северная Осетия-Алания, Российская Федерация

Актуальность. В условиях санкций и импортозамещения основной задачей, стоящей перед сотрудниками научных учреждений, является выведение новых конкурентоспособных сортов и гибридов сельскохозяйственных растений. В связи с этим в рамках участия в выполнении комплексного научно-технического проекта (2018-2025 гг.) совместно с индустриальным партнером ООО «Зольский картофель» сотрудники ФГБОУ ВО Горский ГАУ и ИСХ КБНЦ РАН проводят исследования по селекции и семеноводству картофеля в условиях вертикальной зональности Центрального Кавказа. **Материалами исследований** являются сорта и гибриды картофеля отечественной и зарубежной селекции. Все учеты и наблюдения проводились по методикам ВНИИКС, ВИР и ВИЗР. **Цель данных исследований** – выведение высокопродуктивного генотипа картофеля, обладающего комплексом хозяйственно-ценных признаков, высокой пластичностью и устойчивостью к патогенным организмам. Прохождение всех этапов селекционного процесса является условием и гарантией высокой вероятности получения прогнозируемого результата. **Результаты и выводы.** В процессе научной работы выявлено, что показатель количества образовавшихся завязей не находится в корреляции с показателем количества семян, сформированных в одной ягоде, а общая эффективность гибридизации является особенностью комбинации родительских пар и зависит от природно-климатических условий. В питомнике конкурсного испытания 2-го года в 2021 году были выявлены гибриды 13.61/104, 13.61/102 и 13.61/101 (таблица 4), превосходившие стандарт (Жуковский ранний) и, которые показали урожайность в пределах 37,1-41,4 т/га, товарность – 94,8-96,6 %, вес товарного клубня – 84,4-95,0 г. Гибриды данного питомника обладают высокой устойчивостью к основным болезням. Средняя урожайность гибридов конкурсного испытания 3-го года 12.58/212, 10.11/1044, 10.11/716 отмечена на уровне 40,9, 46,2, 42,8 т/га, соответственно. Данные показатели значительно превышают результаты стандартного сорта (в пределах 40,5 – 58,4 %).

Ключевые слова: селекция картофеля, гибридизация картофеля, генотипы картофеля, урожайность картофеля, товарность картофеля.

Цитирование. Абазов А. Х., Басиев С. С., Газдаров М. Дз., Сарбашева А. И. Селекция картофеля по хозяйственно-ценным признакам для условий Северо-Кавказского региона. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 81-93. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-08.

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. Перспективы развития агропромышленного направления деятельности Российской Федерации, обеспечения стабильного роста продукции сельского хозяйства и снижения ее себестоимости во многом связаны с наличием собственного се-

менного фонда высокопродуктивных, устойчивых к болезням и стрессам различного характера сортов сельскохозяйственных культур. В этой связи особую важность имеет наличие эффективной системы получения новых генотипов и воспроизводства посевного материала различных сельскохозяйственных культур, в том числе и картофеля, в достаточном количестве, удовлетворяющем потребности аграриев страны вне зависимости от организационно-правовой формы их деятельности.

Так, в 2018 г. доля используемых в России зарубежных семян картофеля составила 40–50 % [1].

Поиск и выведение новых генотипов с целью создания высокопродуктивных, устойчивых к основным болезням, приспособленных к возделыванию в различных природно-климатических зонах образцов привело к тому, что на текущий момент в мире существует более 5000 сортов картофеля. Получение новых генотипов картофеля, обладающих высоким биологическим потенциалом и широкими адаптивными возможностями, является важным элементом инновационных технологий в картофелеводстве. Рациональный подбор устойчивых к различным биотическим и абиотическим условиям сортов повышает рентабельность на этапе выращивания за счёт высокой урожайности и высокого качества продукции. При этом снижается химическое воздействие на агробиоценоз, улучшается экологическая обстановка в целом [2].

Глобальные изменения различного характера, сопровождающие жизнедеятельность современного человечества и затрагивающие все биологические сферы планеты и виды деятельности человека, делают более острыми вопросы обеспечения продовольственной и экологической безопасности. В области растениеводства возрастают требования к вновь создаваемым сортам. На семенном рынке в области картофелеводства наиболее востребованы сорта, устойчивые к распространённым и адаптирующимся популяциям болезней и вредителей, а также способные противостоять действию абиотических и биотических факторов [3, 4].

Формирование современного сорта картофеля – сложный селекционный процесс, который предполагает оценку перспективного генотипа более чем по 50 различными признакам. Данные признаки характеризуют качественные и количественные показатели, необходимые для объективной оценки биологического и экономического потенциала генотипа: урожайность, сроки созревания, устойчивость к распространённым болезням и вредителям, адаптивность к стрессам, к условиям применяемой агротехники и механизированной уборке, пригодность к длительному хранению. Кроме того, с точки зрения маркетинга важен и комплекс признаков клубня – привлекательная форма, желаемая окраска кожуры и мякоти, мелкие глазки [5, 6].

Современное картофелеводство невозможно представить без понятия «сортная технология». Правильный выбор сорта и реализация всех необходимых агроприёмов в соответствии с разработанной сортной технологией гарантирует получение высокого урожая. Правильность выбора, обусловлена наличием привлекательного товарного вида клубней, а также их высокими вкусовыми качествами. Этими показателями обусловлены потребительский спрос и цена продукции [7, 8].

В связи с этим можно отметить, что сорт, являясь совокупностью культурных растений, полученных путем селекции и обладающих определенными наследственными морфологическими, биологическими и хозяйственно-ценными признаками и свойствами, всегда был и остается важнейшим фактором научно-технического прогресса в сельском хозяйстве. Грамотное использование биологических возможностей различных генотипов, в том числе и сроков спелости сортов, позволяет получать стабильный урожай на фоне снижения затрат на мероприятия по защите от болезней и вредителей.

Обеспечение условий, предотвращающих совпадение активных фаз развития патогенных микроорганизмов и периода максимально активного накопления урожая растениями картофеля, способствует снижению негативного воздействия на экологическое состояние агробиоценоза [9, 10, 11].

В связи с актуальностью данного направления работы определена следующая цель научных исследований: создание новых сортов и гибридных популяций картофеля, обладающих комплексом хозяйственно-ценных признаков для условий гор и предгорий Северо-Кавказского региона и субъектов ЮФО Российской Федерации; получение новых генотипов картофеля и комплексная оценка хозяйственно-ценных признаков новых сортов и гибридов картофеля [12, 13].

Материалы и методы. В 2019-2021 годы создание сортов картофеля с высокой продуктивностью и устойчивостью к вирусам, хорошо приспособленных для условий горной и предгорной зон Северного Кавказа, требовало решения следующих задач:

- проведение гибридизации;
- обработка и анализ учетов в селекционных питомниках всех типов (сеянцев первого года, сеянцев второго года и т.д.), включая наблюдения в коллекционном питомнике;
- оценка полученного материала.

Гибридизацию проводили в родительском питомнике в утренние часы при оптимальных условиях температурного и влажностного режима на свежих цветках. Собирали цветки сортов-опылителей, кончиком канцелярского пера снимали пыльцу с тычинок и наносили на рыльце пестика цветка материнского сорта.

В питомниках селекционного процесса все учеты и наблюдения проводились по методикам ВНИИКС, ВИР и ВИЗР. Схема посадки 70×30 см.

В питомниках конкурсного испытания проводили более тщательную оценку гибридов.

Результаты и обсуждение. В годы исследований (2019-2021 гг.) в рамках решения проблемы по созданию сортов для условий горной и предгорной зон Северного Кавказа гибридизация проводилась согласно утвержденной модели сорта. Но неблагоприятные климатические условия в период скрещивания внесли свои коррективы в ягодообразование. В 2019 году ягоды были получены в 2-х комбинациях родительских пар; в 2020 – в 5-ти и 2021 – в 3-х комбинациях. Из 50 подобранных родительских пар доля образовавшихся завязей составила по годам исследования 0,04; 0,1 и 0,06 %, соответственно.

Эффективность скрещивания за анализируемый период в целом составила 0,2 %. Результаты, отражающие как эффективность гибридизации, так и количественные показатели образовавшихся семян отражены в таблице 1.

Представленные результаты показывают, что при скрещивании комбинации генотипов родительских пар проявляют различную способность образования завязи. Более интенсивно данный процесс происходил в комбинациях 275 (Инноватор х Каменский), 283 (Резерв х Предгорный) и 296 (81.14/61 х Здабыток), где доля эффективного оплодотворения составила 10,2-11,2 %. Средний уровень данного показателя продемонстрировали комбинации 269, 270, 277, 279 и 290, где доля цветков, образовавшихся завязей после гибридизации, составила 5,6, 6,6, 4,8, 7,8, 9,3 %, соответственно. В комбинациях 267 и 268 опадание оплодотворенных цветков было гораздо значительнее, а доля завязавшихся составила 1,6 и 2,8 %, соответственно.

Более полную характеристику потенциала комбинаций скрещиваемых генотипов представляет показатель количества образовавшихся гибридных семян в расчете на одну ягоду. Максимальные результаты по данному показателю отмечены по комбинации

ям 269, 275, 279 и 290, в которых в каждой ягоде сформировалось 91,2, 101,7, 89,7 и 96,8 шт. семян, соответственно. Средний уровень показателя образования гибридных семян выявлен по комбинациям 267 и 268 (51,3 и 47,2 шт.). Остальные комбинации формировали ягоды, содержащие от 16,6 до 22,5 шт. гибридных семян.

Таблица 1 – Результаты гибридизации за 2019–2021 гг.

Table 1 – Hybridization results, 2019-2021

№		Проведены комбинации скрещивания / Conducted crossbreeding combinations		Опылено цветков, шт.	Число завязавшихся продуктивных ягод, шт. / на ягоду	Количество полученных гибридных семян, шт, на ягоду	Число генотипов, шт./ выход в процентах
п/п	комбинация	♀	♂				
1	2	3	4	5	6	7	8
2019							
1	267	Andra	Предгорный	180	3	154/51,3	134/87,0
2	268	Adretta	Барс	140	4	189/47,2	131/69,3
2020							
3	269	Невский	Earli Roza	158	8	730/91,2	213/29,2
4	270	Нальчикский	Libana	105	7	158/22,5	89/56,3
5	275	Инноватор	Каменский	147	15	1526/101,7	598/39,2
6	277	Инноватор	Prmyer	164	8	159/19,9	68/42,8
7	279	Голубой Дунай	Кузнечанка	127	10	897/89,7	356/39,7
2021							
8	283	Резерв	Предгорный	146	15	249/16,6	112/44,9
9	290	Надежда 25-N	Roko	139	13	1258/96,8	159/12,6
10	296	81.14/61	Здабыток	152	17	369/21,7	103/27,9

Полученные результаты свидетельствуют о том, что показатель количества образовавшихся завязей не находится в корреляции с показателем количества семян, сформированных в одной ягоде, а общая эффективность гибридизации является особенностью комбинации родительских пар и зависит от природно-климатических условий.

Особенности реализации традиционной селекции требуют прохождения всех ее этапов, что является условием и гарантией высокой вероятности получения прогнозируемого результата – выведения высокопродуктивного генотипа картофеля, обладающего комплексом хозяйственно ценных признаков, высокой пластичностью и устойчивостью к патогенным организмам.

Показатель продуктивности является базовым, отслеживается по каждому генотипу начиная с питомника предварительного испытания и до питомника конкурсного испытания 3-го года включительно. С целью демонстрации процесса прохождения отбора перспективных гибридов в течение периода 2019-2021 гг. представлена информация показателя продуктивности генотипов в различных питомниках селекционного процесса (таблицы 2, 3 и 4).

Представленные данные показывают, что в 2019 году из 8 гибридных потомства 5 превысили основные показатели по формированию урожая в сравнении со средним результатом контрольного варианта (сорт Жуковский ранний – 25,4 т/га). Уровень превышения урожайности гибридов 13.61/104, 13.61/102, 13.62/17, 13.61/101 и 13.61/136 находился в пределах 7,4 – 51,5 % (на 1,2-17,4 т/га).

Таблица 2 – Результаты структуры урожая в питомниках селекционного процесса за 2019 г.
Table 2 – Results of the crop structure in nurseries of the breeding process, 2019

№ п/п	Стандарт / Гибрид	кг/ куст	Показатели на делянку Indicators per plot					Вес одно- го товар- ного клубня, г	Урожай- ность, т/га
			общий вес клуб- ней, кг	общее кол-во клуб- ней, шт.	число товар- ных клубней , шт.	вес то- варных клубней , кг	общая товар- ность, %		
Питомник основного испытания									
1	Жуковский ранний – St.	0,55	11,1	162	141	10,3	92,8	73,1	25,9
2	13.61/88	0,34	6,8	156	100	5,9	86,8	59,0	16,1
3	13.61/104	0,71	14,4	196	176	14,0	98,6	79,5	33,4
4	13.61/102	0,82	16,4	176	157	15,8	96,3	100,6	38,5
5	13.61/98	0,22	4,3	79	60	3,6	83,7	59,9	10,3
6	Жуковский ранний – St.	0,53	10,7	165	145	10,3	96,3	60,0	24,9
7	13.62/17	0,71	14,2	152	107	9,9	69,7	92,5	33,4
8	13.62/26	0,28	5,6	165	98	4,8	85,7	48,9	13,2
9	13.61/101	0,76	15,1	176	157	14,6	96,7	93,0	35,7
10	13.61/136	0,58	11,6	168	139	10,6	91,4	76,2	27,3
Питомник конкурсного испытания									
11	Жуковский ранний – St	0,46	9,2	151	133	8,7	88,2	66,5	21,6
12	12.58/212	0,64	12,9	210	158	12,2	81,7	79,0	30,1
13	12.40/62	0,51	9,9	192	139	8,8	73,4	67,3	23,9
14	12.58/59	0,41	8,4	196	141	7,4	73,3	52,6	19,3
15	10.11/1044	0,89	17,0	283	198	15,8	78,1	78,2	41,8
17	10.11/716	0,92	17,9	252	220	17,2	87,9	81,4	43,2
18	13.62/1	0,40	8,2	141	123	7,5	87,5	61,6	18,8
	НСР ₀₅								1,3

В среднем урожайность гибридов питомника составила 28,2 т/га, товарность – 79,1 %. Вес товарного клубня колебался от 48,1 г (гибрид 13.62/26) до 92,8 г (13.61/101), в среднем достигая 70,3 г. Большинство гибридов имеют округлую или округло-овальную форму, белую кожуру и мякоть, мелкие глазки белого цвета и среднюю глубину столонного следа.

Отобранные гибриды отличались высокой устойчивостью к вирусным, грибным, микоплазменным и виroidным болезням.

Таким образом, следует выделить как наиболее перспективные гибриды:

- 13.61/101 с урожайностью 35,5 т/га, товарностью 89,2 %, весом товарного клубня 92,8 г, однако обладающего средней глубиной столонного следа и глазков;
- 13.61/104 с урожайностью 33,6 т/га, товарностью 89,5 %, весом товарного клубня 80 г, с поверхностным столонным следом, мелкими глазками, характеризующегося удлиненным клубнем белого цвета.
- 13.61/136 с урожайностью 27,2 т/га;
- 13.61/102 с рекордной для данного питомника урожайностью 43,4 т/га, но невысокой товарностью – 64,9 %.
- 13.62/17 с высокой урожайностью 33,4 т/га, но невысокой товарностью – 69,7 %.

Результат анализа материалов, полученного в питомнике конкурсного испытания 1-го года в 2019 году, также был обнадеживающим. Из 7 гибридов различных комбинаций превышение показателя урожайности в сравнении с контрольным сортом Жуковский ранний (21,6 т/га) отмечено по 4 гибридам – 12.58/212, 12.40/62, 10.11/1044, 10.11/716. Данные гибриды демонстрировали урожай выше контрольного на 10,6–100 % (урожайность – от 30,3 до 43,7 т/га, товарность – 78,1-87,9 %, вес товарного клубня – 78,2-81,4 г).

В то же время указанные гибриды немного уступают стандарту в товарности. Данный показатель исследуемых гибридов ниже контрольного на 0,3–14,8 %. В среднем по питомнику товарность выделенных гибридов составила 80,3 %.

Оценивая морфологические показатели качества клубней питомника, можно заключить, что гибриды отличаются разной степенью удлиненности формой клубней как красного, так и белого цвета, белой мякотью, мелкими и средними глазками, мелкой и средней глубиной залегания глазков и столонного следа.

Все гибриды проявили высокую устойчивость к вирусным, грибным, микоплазменным и виroidным болезням.

Аналогичным образом проводилась селекционная работа и в 2020 году. В питомнике основного испытания было высажено 9 гибридов, 6 из которых продемонстрировали урожайность, значительно превышающую данный показатель по контрольному сорту, Жуковский ранний (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты структуры урожая в питомниках селекционного процесса за 2020 г.

Table 3 – Results of the crop structure in nurseries of the breeding process, 2020

№ п/п	Стандарт / Гибрид	кг/куст	Показатели на делянку					Вес одного товарного клубня, г	Урожайность, т/га
			общий вес клубней, кг	общее кол-во клубней, шт.	число товарных клубней, шт.	вес товарных клубней, кг	общая товарность, %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Питомник основного испытания									
1	Жуковский ранний-st	0,62	6,2	80	65	5,5	88,7	84,6	29,1
2	15.160/133	1,46	14,6	137	120	13,7	93,8	114,2	68,6
3	15.160/257	1,21	12,1	122	105	11,3	93,4	107,6	56,9
4	15.160/398	1,46	14,6	227	156	13,2	90,4	84,6	68,6
5	15.160/240	0,92	9,2	100	79	9,0	97,8	90,0	43,2
6	Жуковский ранний-st	0,63	6,3	84	72	5,8	92,1	80,6	29,6
7	15.160/184	0,82	8,15	108	81	7,7	94,5	85,1	38,5
8	15.160/230	0,62	6,2	93	70	5,8	93,5	82,9	29,1
9	15.160/128	0,93	9,3	87	74	9,2	98,9	124,3	43,7
10	15.160/40	0,61	6,1	131	107	5,9	96,7	55,1	28,7
11	15.160/235	0,47	4,7	56	43	4,5	95,7	104,6	22,1
Питомник конкурсного испытания I									
11	Жуковский ранний-st	0.51	10.2	151	139	9.9	97.1	71.2	24.0

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	13.61/104	0,68	13.6	185	171	13.4	98.5	78.4	32.0
13	13.61/102	0,78	15.6	164	150	15,4	97.5	102.7	36.7
14	13.62/17	0,61	12.2	141	127	12.0	98.4	94.5	28.7
15	13.61/101	0,71	14.2	165	148	13.9	97.9	93.9	33.4
16	13.61/136	0,50	10.0	156	140	9.7	97.0	69.3	23.5
	НСР ₀₅								0,94
Питомник конкурсного испытания II									
17	Жуковский ранний-st	0,56	9,2	142	131	9.0	97.8	68.7	26.3
18	12.58/212	0,74	12,9	186	166	12.6	97.7	75.9	34.8
19	12.40/62	0,51	9,9	179	168	9.7	97.9	57.7	24.0
20	10.11/1044	0,79	17,0	201	198	16.8	98.8	84.8	37.1
21	10,11/716	0,82	17,9	189	175	17.8	99.4	101.7	38.5
	НСР ₀₅								0,65

Превышение урожайности гибридов 15.160/133, 15.160/257, 15.160/398, 15.160/240, 15.160/184 и 15.160/128 в сравнении с сортом Жуковский ранний составило от 30,0 до 135,7 %. Лучшие результаты отмечены по гибридам 15.160/133 и 15.160/398. Продуктивность каждого из них в сравнении с сортом Жуковский ранний выше на 39,5 т/га. Товарность выделенных гибридов не уступает или выше товарности клубней контрольного варианта.

В питомнике конкурсного испытания 1-го года в 2020 году были представлены 5 гибридов 13.61/104, 13.61/102, 13.62/17, 13.61/101 и 13.61/136. Полученные результаты показывают, что в 2020 году из 5 гибридных потомства четыре превысили основные показатели по формированию урожая в сравнении с результатом контрольного варианта (сорт Жуковский ранний – 24,0 т/га). Уровень превышения урожайности гибридов 13.61/104, 13.61/102, 13.62/17 и 13.61/101 находился в пределах 19,6–52,9 % (на 3,7 – 12,7 т/га).

Товарность выделенных гибридов также была выше в сравнении с контрольным вариантом на 0,4–1,4 %, а вес одного товарного клубня испытуемых гибридов находился в пределах 94,4 – 102,6 г, тогда как в контрольном варианте данный показатель отмечен на уровне 71,2 г.

В этом же году конкурсное испытание второго года прошли четыре генотипа различных гибридных комбинаций. Три комбинации отмечены как перспективные, обеспечившие продуктивность значительно более высокую в сравнении с контролем – сортом Жуковский ранний. Урожайность гибридов 12.58/212, 10.11/1044 и 10,11/716 достигла 34,8, 37,1 и 101,7 т/га, что на 31,9–46,3 % превышает контрольные показатели.

Товарность гибрида 12.58/212 незначительно уступает в сравнении с Жуковским ранним (меньше на 0,1 %), остальные из отобранных гибридов формировали товарных клубней больше, чем контрольный сорт (на 1–1,6 %). Вес одного товарного клубня перспективных гибридов находился в пределах 75,9 – 101,7 г, что на 10,4–48,3 % больше, чем аналогичный показатель в контрольном варианте.

Селекционный процесс носит преемственный характер, что обеспечивает его непрерывность и позволяет наблюдать обусловленность получаемых результатов в процессе динамики проявления качественных и количественных характеристик исследуемых генотипов. В 2021 году из 12 исследуемых гибридов основное испытание про-

шли четыре гибрида собственной селекции: 20.108/174, 20.108/120, 20.107/50 и 20.107/30. Урожайность этих генотипов находилась в пределах 36,2 – 48,4 т/га, что существенно выше среднего результата по сорту Жуковский ранний (30,2 т/га).

Товарность гибрида 20.108/174 уступает контрольному варианту на 9,2 %. Гибриды 20.108/120, 20.107/50 и 20.107/30 превзошли контроль по данному показателю на 6,7, 1,3 и 0,7 %, соответственно. Анализ параметра массы одного клубня показывает, что клубни гибридов 20.108/174 и 20.108/120 обладают большей массой в сравнении с контролем (средняя масса одного клубня сорта Жуковский ранний составляет 80,4 г), а гибриды 20.107/50 и 20.107/30 уступают по этому показателю контрольному варианту (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты структуры урожая в питомниках селекционного процесса за 2021 г.

Table 4 – Results of the crop structure in breeding process nurseries, 2021

№ п/п	Стандарт / Гибрид	кг/ куст	Показатели на делянку					Вес одного товарного клубня, г	Урожайность, т/га
			общий вес клубней, кг	общее кол-во клубней, шт.	число товарных клубней, шт.	вес товарных клубней, кг	общая товарность, %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Питомник основного испытания									
1	Жуковский ранний-st	0,58	5,8	78	62	5,3	91,4	85,5	27,3
2	20.108/88	0,58	5,8	80	60	5,0	86,2	83,3	27,3
3	20.108/174	0,79	7,9	100	65	6,5	82,2	100,0	37,1
4	20.108/165	0,53	5,3	204	80	3,9	73,6	48,8	24,9
5	20.108/15	0,55	5,5	132	82	4,9	89,1	58,8	25,8
6	Жуковский ранний-st	0,69	6,9	98	82	6,3	91,4	76,8	32,4
7	20.108/120	1,03	10,3	114	104	10,1	98,1	97,1	48,4
8	20.108/103	0,58	5,8	97	76	5,4	93,1	71,1	27,3
9	20.108/142	0,61	6,1	132	112	5,5	90,2	49,1	28,7
10	20.108/61	0,34	3,4	70	55	2,9	85,3	52,7	16,0
11	Жуковский ранний-st	0,66	6,6	96	76	6,0	90,9	78,9	31,0
12	20.107/50	0,77	7,7	176	120	7,1	92,2	59,2	36,2
13	20.107/48	0,65	6,5	135	112	6,0	92,3	53,6	30,6
14	20.107/30	0,83	8,3	124	100	7,6	91,6	76,0	39,0
15	20.107/25	0,45	4,5	92	75	3,8	84,4	50,7	21,2
Питомник конкурсного испытания I									
16	Жуковский ранний-st	0,54	10,8	132	120	10,5	97,2	87,5	25,4
17	15.160/133	1,06	21,2	216	206	20,9	98,6	101,6	49,8
18	15.160/257	1,01	20,2	218	208	20,0	99,0	96,2	47,5
19	15.160/398	1,00	20,0	202	202	19,7	98,5	97,5	47,0
20	15.160/240	0,89	17,8	182	179	17,5	98,3	97,8	41,8
22	15.160/184	0,65	13,0	139	131	12,8	98,5	97,7	30,5

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	15.160/230	0,56	11,2	131	120	10,8	96,4	90,0	26,3
24	15.160/128	0,99	19,8	219	196	19,5	98,5	99,5	46,5
	НСР ₀₅								0,91
Питомник конкурсного испытания II									
25	Жуковский ранний-st	0,59	11,8	146	123	10,9	92,4	88,6	27,7
26	13.61/104	0,79	15,8	201	179	15,1	95,6	84,4	37,1
27	13.61/102	0,88	17,6	200	176	17,0	96,6	95,0	41,4
28	13.62/17	0,56	11,2	149	125	10,3	92,0	82,4	26,3
29	13.61/101	0,87	17,4	212	186	16,5	94,8	88,7	40,9
	НСР ₀₅								0,38
Питомник конкурсного испытания III									
30	Жуковский ранний-st	0,62	12,4	136	128	12,0	96,8	93,7	29,1
31	12.58/212	0,87	17,4	189	172	16,9	97,1	98,3	40,9
32	10.11/1044	0,98	19,6	209	189	19,0	96,9	100,5	46,1
33	10.11/716	0,91	18,2	205	186	17,6	96,7	94,6	42,8
	НСР ₀₅								1,6

В питомнике конкурсного 1-го года испытания были изучены семь перспективных гибридов. Все гибриды, за исключением 15.160/230, превзошли по показателям урожайности, товарности и массы одного клубня результаты по сорту Жуковский ранний. Превышение по урожайности находилось в пределах 20,1–96,1 %. Максимальный результат отмечен по гибриду 15.160/133 (49,8 т/га). Товарность гибридов 15.160/133, 15.160/257, 15.160/398, 15.160/240, 15.160/184, 15.160/128 была выше контрольного варианта на 1,1–1,7 %. Аналогичное соотношение отмечено и по массе одного клубня. Клубни гибридов обладали большей массой, чем у сорта Жуковский ранний (на 10–14 г).

В питомнике конкурсного испытания 2-го года (таблица 4) испытывали 4 гибрида, из которых три превысили показатели контрольного варианта. Гибриды 13.61/104, 13.61/102 и 13.61/101 показали урожайность в пределах 37,1 – 41,4 т/га, товарность 94,8–96,6 %, вес товарного клубня 84,4 – 95,0 г.

Гибриды данного питомника обладают высокой устойчивостью к основным болезням.

В конкурсном испытании 3-го года были изучены три перспективных гибрида: 12.58/212, 10.11/1044, 10.11/716. Средняя урожайность этих гибридов отмечена на уровне 40,9, 46,2, 42,8 т/га, соответственно. Данные показатели значительно превышают результаты стандартного сорта (в пределах 40,5–58,4 %). Товарность клубней исследуемых гибридов выше контрольных результатов, аналогично и масса одного товарного клубня. Вес товарного клубня гибридов 12.58/212, 10.11/1044, 10.11/716 находился в пределах 94,6 – 100,5 г, тогда как данный показатель в контрольном варианте отмечен на уровне 93,7 %.

Последовательная кропотливая целенаправленная деятельность селекционеров Горского ГАУ дает положительные результаты.

В 2020 году в рамках участия в реализации комплексного научно-технического проекта для ООО «Зольский картофель» был получен среднеранний сорт картофеля «Осетинский», допущенный к использованию в Северо-Кавказском регионе. Аналогичное достижение Горского ГАУ было реализовано и в 2021 году – включен в реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ (по шестому региону) среднеранний сорт «Фарн».

Заключение. 1. Показатель количества образовавшихся завязей не находится в корреляции с показателем количества семян, сформированных в одной ягоде, а общая эффективность гибридизации является особенностью комбинации родительских пар и зависит от природно-климатических условий.

2. Прохождение всех этапов селекционного процесса является условием и гарантией высокой вероятности получения прогнозируемого результата – выведения высокопродуктивного генотипа картофеля, обладающего комплексом хозяйственно ценных признаков, высокой пластичностью и устойчивостью к патогенным организмам.

3. В питомнике конкурсного испытания 2-го года в 2021 году из четырех изученных гибридов лучшими характеристиками, превосходящими по всем параметрам стандартный сорт, обладают гибриды 13.61/104, 13.61/102 и 13.61/101 показали урожайность в пределах 37,1–41,4 т/га, товарность 94,8–96,6 %, вес товарного клубня 84,4–95,0 г. Гибриды данного питомника обладают высокой устойчивостью к основным болезням.

4. Средняя урожайность гибридов конкурсного испытания 3-го года 12.58/212, 10.11/1044, 10.11/716 отмечена на уровне 40,9, 46,2, 42,8 т/га, соответственно. Данные показатели значительно превышают результаты стандартного сорта (в пределах 40,5 – 58,4 %).

Conclusions. 1. The indicator of the number of ovaries formed is not in correlation with the indicator of the number of seeds formed in one berry, and the overall hybridization efficiency is a feature of the combination of parent pairs and depends on natural and climatic conditions.

2. The passage of all stages of the selection process is a condition and guarantee of a high probability of obtaining the predicted result – the elimination of a highly productive potato genotype with a complex of economically valuable features, high plasticity and resistance to pathogenic organisms.

3. In the nursery of the competitive test of the 2nd year in 2021, out of the four hybrids studied, hybrids 13.61/104, 13.61/102 and 13.61/101 showed the best characteristics superior in all respects to the standard variety, showed a yield within the range of 37.1–41.4 t/ha, a marketability of 94.8–96.6%, a commodity tuber weight of 84.4–95.0 g. Hybrids of this nursery have high resistance to the main diseases.

4. The average yield of hybrids of the competitive test of the 3rd year 12.58/212, 10.11/1044, 10.11/716 was noted at the level of 40.9, 46.2, 42.8 t/ha, respectively. These indicators significantly exceed the results of the standard grade (within 40.5–58.4%).

Библиографический список

1. Воротников И. Л., Муравьева М. В., Петров К. А. Информационное обеспечение управления процессами регулирования зависимости сельского хозяйства России от импорта семян и семенного материала. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. №. 4. С. 228–234.

2. Киру С. Д., Рогозина Е. В. Источники и доноры устойчивости к золотистой картофельной нематоды *G. rostochiensis* Woll. из мировой коллекции картофеля ВИР. Развитие новых технологий селекции и создание отечественного конкурентоспособного семенного фонда картофеля. 2016. С. 28–37.

3. Шелабина Т. А., Завьялова С. А. О качестве семенного материала картофеля в тестовой коллекции лучших сортов российской и белорусской селекций. Аграрная Россия. 2015. № 5. С. 24–25.

4. Abazov A., Abidov Kh., Basiev S., Nazranov Kh. Breeding of early ripening potato varieties under the conditions of the Kabardino-Balkarian foothill zone. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. V. 262. P. 01034.

5. Басиев С. С., Лазаров Т. К., Гаплаев М. С., Гериева Ф. Т., Шишхаев И. Ю. Достижения селекции картофеля на Центральном Кавказе. Серия конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде. Издательство ИОП, 2021. № 659 (1). С. 012085.

6. Мушинский А. А., Аминова Е. В., Герасимова Е. В. Подбор сортов картофеля для почвенно-климатических условий степной зоны Южного Урала. Достижения науки и техники АПК. 2017. № 4. С. 51–54.

7. Журавлева Е. В. Селекция и семеноводство – комплексный подход, современное состояние и перспективы. Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. №. 12. С. 5–6.

8. Kim I. V., Chibizova A. S., Shishchenko E. V., Fisenko P. V., Chekushkina T. N., Barsukova E. N., Volkov D. I., Klykov A. G. Methods of biotechnology in the improvement of promising potato hybrids (*Solanum tuberosum* L.). *Research on Crops*. 2021. V. 22. № S. P. 96-99.

9. Щегорец О. В. Системный кризис амурского картофелеводства и пути его преодоления. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2022. №. 2 (62). С. 65-75.

10. Андрианов Д. А., Андрианов А. Д. Селекция картофеля в Республике Башкортостан. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. №. 1. С. 16-22.

11. Косарева О. С. Оценка селекционных сортов картофеля мировой коллекции ВИР в условиях северо-западного региона России. *Аграрная Россия*. 2019. № 4. С. 19-23.

12. Филиппова С. В., Кириллов Н. А. Опыт получения здоровых мини-клубней картофеля с максимальной репродуктивной способностью. *Аграрная Россия*. 2022. № 5. С. 37-39.

13. Евдокимова З. З., Калашник М. В. Селекция сортов картофеля для условий северо-запада и европейского севера РФ. *Аграрная Россия*. 2015. № 4. С. 10-13.

References

1. Vorotnikov I. L., Muravyeva M. V., Petrov K. A. Information support for managing the processes of regulating the dependence of agriculture in Russia on the import of seeds and seed material. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2019. Vol. 12. No 4. Pp. 228-234.

2. Kiru S. D., Rogozina E. V. Sources and donors of resistance to the golden potato nematode *G. rostochiensis* Woll. from the world collection of VIR potatoes. Development of new breeding technologies and creation of a domestic competitive potato seed fund. 2016. Pp. 28-37.

3. Shelabina T. A., Zavyalova S. A. About the quality of potato seed material in the test collection of the best varieties of Russian and Belarusian selections. *Agrarian Russia*. 2015. No 5. Pp. 24-25.

4. Abazov A., Abidov Kh., Basiev S., Nazranov Kh. Breeding of early ripening potato varieties under the conditions of the Kabardino-Balkarian foothill zone. *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2021. V. 262. P. 01034.

5. Basiev S. S., Lazarov T. K., Gaplaev M. S., Gerieva F. T., Shishkhaev I. Yu. Achievements of potato breeding in the Central Caucasus. *IOP conference series: Earth and Environmental Sciences*. IOP Publishing House. 2021. V. 659 (1). P. 012085.

6. Mushinsky A. A., Aminova E. V., Gerasimova E. V. Selection of potato varieties for soil and climatic conditions of the steppe zone of the Southern Urals. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2017. No 4. Pp. 51-54.

7. Zhuravleva E. V. Breeding and seed production – an integrated approach, current state and prospects. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2015. Vol. 29. No 12. Pp. 5-6.

8. Kim I. V., Chibizova A. S., Shishchenko E. V., Fisenko P. V., Chekushkina T. N., Barsukova E. N., Volkov D. I., Klykov A. G. Methods of biotechnology in the improvement of promising potato hybrids (*Solanum tuberosum* L.). *Research on Crops*. 2021. Vol. 22. No S. Pp. 96-99.

9. Shchegorets O. V. Systemic crisis of Amur potato growing and ways to overcome it. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022. No 2 (62). Pp. 65-75.

10. Andrianov D. A., Andrianov A. D. Potato breeding in the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2018. No 1. Pp. 16-22.

11. Kosareva O. S. Evaluation of breeding potato varieties of the world VIR collection in the conditions of the north-western region of Russia // *Agrarian Russia*. 2019. No 4. Pp. 19-23.

12. Filippova S. V., Kirillov N. A. The experience of obtaining healthy mini-tubers of potatoes with maximum reproductive capacity. *Agrarian Russia*. 2022. No 5. Pp. 37-39.

13. Evdokimova Z. Z., Kalashnik M. V. Selection of potato varieties for the conditions of the north-West and the European north of the Russian Federation. *Agrarian Russia*. 2015. No 4. Pp. 10-13.

Сведения об авторах

Абазов Аниуар Хамидович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции и семеноводства картофеля, Институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224), ORCID: 0000-0002-7389-9833, e-mail: kbniish2007@yandex.ru

Басиев Солтан Сосланбекович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой земледелия, растениеводства, селекции и семеноводства; заведующий селекционно-семеноводческим центром, ФГБОУ ВО Горский государственный аграрный университет (Российская Федерация, Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, улица Кирова, д. 37), ORCID: 0000-0003-2920-2143, e-mail: basiev_s@mail.ru

Газдаров Магомет Дзанхотович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник селекционно-семеноводческого центра, ФГБОУ ВО Горский государственный аграрный университет (Российская Федерация, Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, улица Кирова, д. 37), ORCID: 0000-0002-1316-0922, e-mail: gazdmag@yandex.ru

Сарбашева Асият Идрисовна, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией химических анализов и биологических исследований; Институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224), ORCID: 0000-0003-4708-1293, e-mail: sarbashasi59@mail.ru

Author's Information

Abazov Aniuar Hamidovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Potato Breeding and Seed Production Laboratory, Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center" Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Kirov St., 224), ORCID:0000-0002-7389-9833, e-mail: kbniish2007@yandex.ru

Basiev Soltan Soslanbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Agriculture, Plant Breeding, Breeding and Seed Production; Head of the Breeding and Seed Production Center; Gorsky State Agrarian University (Russian Federation, Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Kirov St., 37), ORCID: 0000-0003-2920-2143, e-mail: basiev_s@mail.ru

Gazdarov Magomet D., Candidate of Agricultural Sciences, Researcher of the Breeding and Seed Center; Gorsky State Agrarian University (Russian Federation, Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Kirov St., 37), ORCID: 0000-0002-1316-0922, e-mail: gazdmag@yandex.ru

Sarbasheva Asiyat Idrisovna, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Chemical Analysis and Biological Research; Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center" Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Kirov St., 224), ORCID: 0000-0003-4708-1293, e-mail: sarbashasi59@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-09

STUDY OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC PARAMETERS ON THE YIELD OF POTATOES UNDER IRRIGATED CONDITIONS OF THE STEPPE ZONE OF THE SOUTHERN URALS

T. N. Vasilyeva, A. A. Mushinskiy, A. Zh. Saudabaeva

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

Corresponding author E-mail: aleka_87@bk.ru

Received 27.09.2023

Submitted 05.12.2023

The research was carried out on the topic of State Law FNWZ-2022-0015) "Create new highly productive varieties of cereals and cereals, potatoes with a complex of economically valuable traits, increased resistance to biotic and abiotic stress factors based on comprehensive studies of biore-sources, improve the genetic fund, improve the system seed production, to develop new methods of cultivation technologies for these crops; to develop effective methods for assessing the genetic potential using DNA technologies for the selection improvement of grain crops and the creation of varieties with desired economically valuable properties"

Summary

The article presents data from a study of the influence of climatic parameters on potato yields in irrigated conditions of the steppe zone of the Southern Urals

Abstract

Introduction. The relevance of the study is determined by the need for optimal selection of the assortment of potatoes for each specific region; this is one of the main factors determining the increase in yield and quality of both food and seed potatoes. To achieve this, it is necessary to use varieties in production that combine high adaptability to abiotic environmental factors with resistance to pathogenic organisms. The article presents data from a study of the influence of climatic parameters on potato yields in the irrigated conditions of the steppe zone of the Southern Urals. **Object.** We analyzed the relationship between potato yields of 10 different varieties and air temperature during the growing season. **Materials and methods.** Field experiments were carried out on 10 potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) – Tarasov, Kuzovok, Red Scarlett, Gala, Udacha, Braslet, Rozara, Agat, Nevsky (standard), Spiridon (standard), in a randomized design with divided plots with four repetitions. Results and conclusions. **Results and conclusions.** As a result of the analysis, it was found that in most cases, the relationship between potato productivity and air temperature (r^2) during the growing season has a negative relationship, with the exception of the varieties “Udacha”, “Gala”, “Agat”. The relationship (r^2) of potato varieties “Udacha”, “Gala”, “Agat” with air temperature during the growing season has a strong, reliable positive correlation. According to the data obtained, these varieties are considered to be the most drought-resistant, that is, when exposed to positive air temperatures, these potato varieties have good yields.

Key words: potatoes, potato varieties, potato cultivation conditions, potato cultivation technologies.

Citation. Vasilyeva T. N., Mushinskiy A. A., Saudabaeva A. Zh. Study of the influence of climatic parameters on the yield of potatoes under irrigated conditions of the steppe zone of the Southern Urals. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 93-102. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-09.

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

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

УДК 635.21:631.527(470.56)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ В ОРОШАЕМЫХ УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

Т. Н. Васильева, кандидат биологических наук
А. А. Мушинский, доктор сельскохозяйственных наук
А. Ж. Саудабаева, кандидат биологических наук

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН
г. Оренбург, Российская Федерация

Исследования проводились по теме ГЗ (FNWZ-2022-0015) «Создать новые высокопродуктивные сорта зерновых колосовых и крупяных культур, картофеля с комплексом хозяйственно-ценных признаков, повышенной устойчивостью к биотическим и абиотическим стресс факторам на базе комплексных исследований биоресурсов, улучшить генетический фонд, усовершенствовать систему семеноводства, разработать новые приёмы технологий возделывания этих культур; разработать эффективные методы оценки генетического потенциала с использованием ДНК-технологий для селекционного улучшения зерновых культур и создания сортов с заданными хозяйственно-ценными свойствами»

Аннотация. Актуальность исследования определяется необходимостью оптимального подбора ассортимента картофеля для каждого конкретного региона; это один из основных факторов, определяющих повышение урожайности и качества как продовольственного, так и семенного картофеля. Для этого в производстве необходимо использовать сорта, сочетающие вы-

сокую адаптивность к абиотическим факторам среды с устойчивостью к патогенным организмам. В статье представлены данные изучения влияния климатических параметров на урожайность картофеля в орошаемых условиях степной зоны Южного Урала. **Объект.** Мы провели анализ взаимосвязи урожайности картофеля 10 различных сортов с температурой воздуха в период вегетации. **Материалы и методы.** Полевые эксперименты были проведены на 10 сортах картофеля (*Solanum tuberosum* L.) – Тарасов, Кузовок, Ред Скарлетт, Гала, Удача, Браслет, Розара, Агат, Невский (стандарт), Спиридон (стандарт), в рандомизированной схеме с разделенными делянками с четырьмя повторностями. **Результаты и выводы.** В результате анализа было получено, что в большинстве случаев взаимосвязь продуктивности картофеля с температурой воздуха (r^2) в период вегетации имеет отрицательную связь, исключение составляют сорта «Удача», «Гала», «Агат». Взаимосвязь (r^2) сортов картофеля «Удача», «Гала», «Агат» с температурой воздуха в вегетационный период имеет сильную достоверную положительную корреляционную связь. По полученным данным, эти сорта относят к наиболее засухоустойчивым, то есть при воздействии положительных температур воздуха данные сорта картофеля обладают хорошей урожайностью.

Ключевые слова: картофель, сорта картофеля, условия возделывания картофеля, технологии возделывания картофеля.

Цитирование: Васильева Т. Н., Мушинский А. А., Саудабаева А. Ж. Изучение влияния климатических параметров на урожайность картофеля в орошаемых условиях степной зоны Южного Урала. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 93-102. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-09.

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. Картофель является четвертой по значимости продовольственной культурой в мире после риса, пшеницы и кукурузы и играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, в основном он используется в пищу и является источником различных биологически активных соединений, таких как крахмал, пищевые волокна, аминокислоты, минералы, витамины и фенольные соединения [1].

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – однолетнее травянистое растение, клубни которого очень богаты крахмалом. Население планеты к 2050 году составит порядка 10 миллиардов человек, это приведёт к росту спроса на сельскохозяйственную продукцию как минимум на 50 % по сравнению с 2019 годом [5, 6, 12]. Изменение климата усугубляет частоту абиотического и биотического стресса растений, что создает еще одну проблему для сельскохозяйственного производства. Стрессовые условия приводят к значительным экономическим потерям в сельскохозяйственном производстве [2, 11]. По оценке Чуян О. Г. [3] взаимодействие климатических условий, качества почв и уровня агротехники обуславливает 68-74 % дисперсии урожая. Оренбуржье является аграрным регионом, вопрос изменения климата, как основного фактора, влияющего на сельское хозяйство, является актуальным. Продовольственная безопасность является одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности. По оценке исследователей [1, 5] средние глобальные температуры увеличились и будут продолжать расти вместе с большей частотой чрезвычайно жарких дней. Почвенно-климатические условия земной поверхности суши не везде благоприятны для произрастания сельскохозяйственных культур. Растения проявляют различную пластичность в развитии и модулируют ростовые реакции в различных условиях окружающей среды. Например, процесс клубнеобразования у картофеля (переход от столона к клубню) включает интеграцию множества сигналов окружающей среды, молекулярных сигналов и фитогормонов.

Абиотические стрессы, с которыми растения сталкиваются в процессе роста, серьезно влияют на их рост и продуктивность. В настоящее время исследователями фиксируются значительные тренды изменения климата, которые способны повлиять на производство сельскохозяйственной продукции во всём мире. Следовательно, изучение данного процесса является необходимым условием как для прогноза дальнейшего развития растениеводства, так и развития стратегии продовольственной безопасности страны.

Повышенная температура воздуха и засуха являются одними из главных абиотических стрессов, так как они оказывают влияние на морфологию, физиологию, экологические, биохимические и молекулярные особенности сельскохозяйственных растений. В условиях постоянно растущей угрозы потепления климата важно изучить и учитывать реакцию картофеля, как одной из основных сельскохозяйственных культур, на температурный стресс [1, 7, 11]. Сорта культурных растений по-разному реагируют на изменяющиеся условия окружающей среды. Грамотный подбор сортов картофеля для каждого конкретного региона представляет один из основных факторов, определяющих повышение урожайности и качества как продовольственного, так и семенного картофеля. Поэтому в растениеводстве должны выращиваться сорта, сочетающие хозяйственно-ценные признаки и высокую адаптивность к абиотическим факторам среды с устойчивостью к распространённым патогенам. В современных условиях наличие отечественных сортов картофеля с подобными характеристиками недостаточно [4, 3, 8-10, 12]. В связи с нарастающими климатическими изменениями очень важно изучить воздействие абиотических факторов на урожайность различных сортов картофеля [13].

Целью исследования является изучение влияния климатических факторов на урожайность сортов картофеля при орошении.

Материалы и методы. Полевые эксперименты проводились в КФК Хомутский В. И. Переволоцкого района Оренбургской области (Оренбургская область, Россия) с координатами 51°78'72"N-55° 28'80" в.д., который расположен в центральной части области на левом берегу реки Самары и граничит с пятью районами области. Площадь территории составляет 2756 км². Район исследования расположен в зоне с полупустынным (полузасушливым) климатом умеренных широт (таблица 1).

Таблица 1 – Погодные условия и почвенный состав места проведения полевых экспериментов

Table 1 – Weather conditions and soil composition of the site of field experiments

Среднемесяч- ная температу- ра воздуха		Средне- годовая темпера- тура воздуха	Средне- годовое количе- ство осадков	Почва (чернозем южный тяжелосуглинистый на красно-бурых карбонатных суглинках)					
январь	июль			Гумус	Азот	Подвиж- движ- ный фосфор	Обмен- ный ка- лий	Обмен мен- ный каль- ций	pH
°C				мм	%	мг/100 г почвы			
-24,3 ..27,4	+19,9... +22,4	+5,3	350-450	4,1	8,4	3,25	27	39,0	7,6 - 8,0

Данные о погодных условиях в период исследования получены на метеостанции Оренбург (51°73'93"N-55°9'57"E), а также на интернет-портале (<http://aisori.meteo.ru/>).

Схема эксперимента: полевые эксперименты были проведены на 10 сортах картофеля (*Solanum tuberosum* L.) – Тарасов, Кузовок, Ред Скарлетт, Гала, Удача, Браслет, Розара, Агат, Невский (стандарт), Спиридон (стандарт), в рандомизированной схеме с разделенными делянками с четырьмя повторностями.

Полив: в вегетационный период – 4 полива, с поливной нормой 450-600 м³/га. Вариант I. и вариант II в качестве основных делянок, четыре режима полива: полив только в период появления всходов-контроль (I), полив в течение всего цикла вегетации картофеля (II), полив от закладки клубней до середины вегетационного периода роста клубней (I2), полив 50 % оросительной нормой до окончания роста клубней (I3).

Здоровые клубни, не пораженные патогенами, со средней массой около 100 г на Вариант I (Spunta) и 50 г на вариант II (Sieglinde) были высажены на расстоянии 0,3 м друг от друга рядами, отстоящими друг от друга на 0,7 м (эквивалентно плотности посадки 4,76 растений на м²). Размер экспериментального участка 4,2 м × 4,5 м, 90 растений; ширина бордюров между поливными обработками составляла 2 м. Все растения вошли через 20 дней после посадки.

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ Statistica 10.0 (StatSoftInc, США). Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке с определением средней арифметической величины (M), средней ошибки средней (m) и среднеквадратического (стандартного) отклонения (σ). Анализ регрессий проводили методом наименьших квадратов, силы влияния признаков оценивали, применяя процедуру дисперсионного анализа. Собранные и рассчитанные данные были сначала подвергнуты тесту Шапиро-Уилка и Левена для проверки нормального распределения и гомоскедастичности соответственно. Множественный корреляционный анализ проводили, вычисляя частные коэффициенты корреляции для пар признаков во всех возможных сочетаниях с последующей коррекцией полученных величин с учетом величины выборки (поправка Пирсона на количество наблюдений). В статистических процедурах уровнем значимости гипотез считали уровень, обеспечивающий вероятность ошибки менее 5 % (P<0,05).

Результаты и их обсуждение. Анализ многолетних данных по количеству осадков в районе исследования продемонстрировал, что из 72-х лет 17 лет (23 %) были очень засушливыми, когда выпадало менее 280 мм осадков, 26 лет (36 %) – засушливыми, когда за год выпало 281-380 мм осадков, 23 года (32 %) – влажными, с суммой осадков 381-480 мм и только 6 лет (9 %) были очень влажными с суммой осадков и более 480 мм. Эта оценка многолетних данных демонстрирует, что сельскохозяйственная продукция культивируется в условиях недостаточного увлажнения и нуждается в орошении. За вегетационный период 2022 года выпало 46,12 мм осадков, что в 1,4 раза больше средних многолетних, при среднесуточной температуре +19,6 °C.

Таблица 2 – Статистический анализ климатических параметров за вегетационный период на исследуемом участке (2022 г.)

Table 2 – Statistical analysis of climatic parameters for the growing season in the study area (2022)

Параметры / Options	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Среднесуточная температура / Average daily temperature (T, °C)	12	19,65	11,00	25,80	5,07
Среднемноголетняя температура / Average long-term temperature (T, °C)	12	19,45	13,70	22,30	2,86
Среднее количество осадков за вегетационный период / Average precipitation during the growing season (мм)	12	15,37	0,00	77,00	23,09
Среднее многолетнее количество осадков / Average long-term precipitation (мм)	12	11,25	9,00	13,00	1,66

Статистический анализ климатических параметров за вегетационный период на исследуемом участке продемонстрировал, что усредненные данные среднесуточной температуры превысили среднемноголетнюю температуру на 1,01 раз, среднее количество осадков за вегетационный период 2022 года превысило данные, среднее многолетнее количество осадков в 1,4 раз (таблица 2). При этом минимальные и максимальные параметры продемонстрированы в таблице 1.

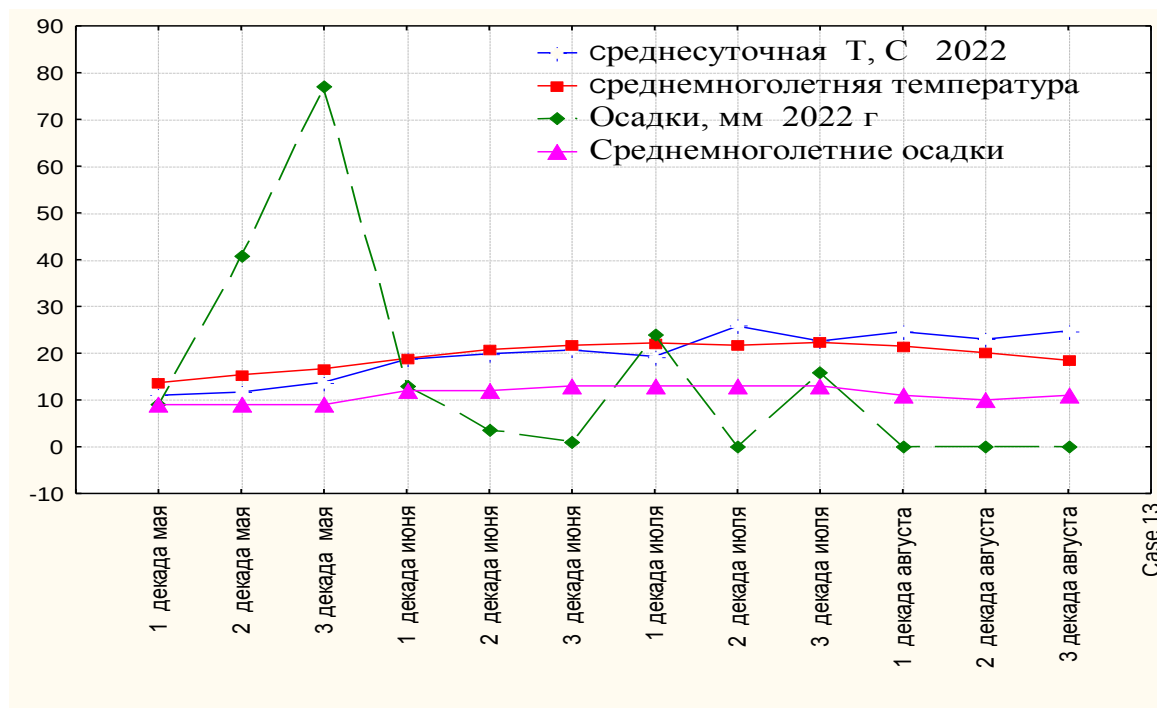


Рисунок 1 – Декадные параметры температур ($T^{\circ}\text{C}$) и количества осадков в вегетационный период растений

Figure 1 – Ten-day parameters of temperatures ($T^{\circ}\text{C}$) and precipitation during the growing season of plants

На рисунке 1 показаны подекадный ход температур и количество осадков, зарегистрированных в ходе эксперимента. Можно отметить увеличение количества осадков в 3 декаде мая, когда растениям необходимо наибольшее количество влаги для прорастания, и, как следствие, в этот промежуток времени при закладке и формировании клубней полив не потребовался.

В проведенных исследованиях суммарное водопотребление зависело от метеорологических условий и режима орошения.

Суммарный расход влаги картофельным полем в опыте №1 за период вегетации в разные годы при поддержании влажности почвы не ниже 75...80 % НВ изменялся в пределах 4440...4540 м³/га, из которых 46...60 % компенсировалось оросительной водой, 9...30 % осадками и 10...13 % использованными почвенными влагозапасами. В опыте № 2 суммарный расход влаги изменялся от 3940 до 4390 м³/га, доля оросительной воды в зависимости от года исследований колебалась от 36 до 50 %, от 9 до 30 % составили осадки и 10-13% от суммарного водопотребления приходилось на использование почвенные влагозапасы.

Урожайность картофеля напрямую зависит от погодных-климатических условий (таблица 2), так как картофель – растение прохладного летнего сезона, повышение температуры до 25 градусов замедляет рост клубней, а при 30 и более градусах он вовсе

прекращается. Картофель выращивали в условиях резко-континентального климата, то есть даже в 1 декаде мая за последние 3 года исследования тепла и света растениям было достаточно. Мы провели анализ взаимосвязи урожайности картофеля 10 различных сортов с температурой воздуха в период вегетации. В результате анализа было установлено, что в большинстве случаев взаимосвязь продуктивности картофеля с температурой воздуха (r^2) в период вегетации имеет отрицательную связь, исключение составляют сорта «Удача», «Гала», «Агат». Взаимосвязь (r^2) сортов картофеля «Удача», «Гала», «Агат» с температурой воздуха в вегетационный период имеет сильную достоверную положительную корреляционную связь. По полученным данным, эти сорта относятся к наиболее засухоустойчивым, то есть при воздействии положительных температур воздуха эти сорта картофеля обладают хорошей урожайностью.

Таким образом, анализ многолетних температурных данных в вегетационный период с урожайностью картофеля в большинстве случаев показал отрицательную взаимосвязь, то есть растение очень чувствительно к высоким положительным температурам. В условиях Оренбуржья положительную достоверную связь имеют сорта картофеля: «Удача» $r^2 = 0,84$ ($P < 0,01$), «Агат» $r^2 = 0,69$ ($P < 0,01$).

Таблица 3 – Урожайность, товарность и взаимосвязь продуктивности картофеля по сортам (2020-2022 гг.) и среднемноголетней температуры и осадков в вегетационный период
Table 3 – Yield, marketability and the relationship of potato productivity by variety (2020-2022) and average annual temperature and precipitation during the growing season

Сорт	Урожайность, т/га	Товарность, %	R^2 температуры	R^2 осадков
Невский (1 St)	21,7	88,3	-0,78	0,83*
Спиридон (2 St)	20,9	85,5	-0,81	0,72*
Тарасов	25,9	90,9	-0,04	0,91*
Кузовок	20,8	87,4	-0,91	-0,14
Ред Скарлетт	19,8	86,9	-0,84	0,91*
Браслет	20,5	86,3	-0,95	0,95**
Удача	28,0	95,0	0,84*	-0,59
Гала	27,6	96,3	0,54**	-0,67
Розара	22,4	92,6	-0,69	0,81**
Агат	29,1	97,2	0,69*	-0,73

Обозначения: *- $P < 0,01$; ** $P < 0,05$

Картофель требователен к влажности почв. В начале образования ростков потребность во влаге почти целиком покрывается за счёт материнского клубня. При появлении всходов и в первые периоды формирования ботвы растениям нужно мало влаги. Важную роль в период формирования клубней играют осадки, особенно в 1 декаду мая, то есть в период посадки и начала всходов растений (рисунок 1). Особенно важно для картофеля наличие воды в период образования и роста клубней.

В связи с этим мы проанализировали количество выпавших осадков в период вегетации и их взаимосвязь с продуктивностью картофеля по сортам (таблица 3). В результате исследований мы получили, что достоверную положительную корреляционную взаимосвязь у сортов картофеля: «Браслет» $r^2 = 0,95$ ($P < 0,05$), «Тарасов» $r^2 = 0,91$ ($P < 0,01$), «Ред Скарлетт» $r^2 = 0,91$ ($P < 0,01$), «Невский (1 St)» $r^2 = 0,83$ ($P < 0,01$), «Розара» $r^2 = 0,81$ ($P < 0,05$), «Спиридон (2 St)» $r^2 = 0,72$ ($P < 0,01$), то есть при увеличении осадков соответственно увеличивается и продуктивность картофеля.

Таким образом, несмотря на природно-климатические условия региона и наличие оросительной системы, большое значение имеет правильный выбор сорта картофеля с учётом особенностей его возделывания. Сорта картофеля значительно различаются по урожайности в зависимости от почвенно-климатических условий.

Выводы. Наши исследования показали, что картофель предъявляет специфические требования к орошению для получения хорошей и качественной продуктивности клубней.

В результате математической обработки температур в вегетационный период и их взаимосвязь с продуктивностью картофеля по сортам в Оренбуржье имеют достоверную корреляционную связь: «Удача» $r^2 = 0,84$ ($P < 0,01$), «Агат» $r^2 = 0,69$ ($P < 0,01$). Высокие температуры воздуха отрицательно влияют на урожайность картофеля, но необходимо учитывать сортовую специфику.

Статистический анализ количества выпавших осадков в вегетационный период и их взаимосвязь с продуктивностью картофеля по сортам имеют достоверную корреляционную связь: «Браслет» $r^2 = 0,95$ ($P < 0,05$), «Тарасов» $r^2 = 0,91$ ($P < 0,01$), «Ред Скарлетт» $r^2 = 0,91$ ($P < 0,01$). В результате анализа выявили, что урожайность картофеля напрямую зависит от водного режима, от количества выпавших осадков в вегетационный период.

Conclusions. Our research has shown that potatoes have specific irrigation requirements to obtain good and high-quality tuber productivity. As a result of mathematical processing of temperatures during the growing season and their relationship with potato productivity by variety in the Orenburg region, they have a significant correlation: “Luck” $r^2 = 0.84$ ($P < 0.01$), “Agat” $r^2 = 0.69$ ($P < 0.01$). High air temperatures negatively affect potato yields, but variety specifics must be taken into account. Statistical analysis of the amount of precipitation during the growing season and their relationship with potato productivity by variety have a significant correlation: “Braslet” $r^2 = 0.95$ ($P < 0.05$), “Tarasov” $r^2 = 0.91$ ($P < 0,01$), “Red Scarlett” $r^2 = 0.91$ ($P < 0.01$). As a result of the analysis, it was revealed that potato yield directly depends on the water regime and the amount of precipitation during the growing season.

Библиографический список

1. Банадысев С. А. Возможности снижения ущерба от засухи в картофелеводстве. Влияние засухи на развитие растений и клубней. Наше сельское хозяйство. 2022. №17 (289). С. 41-47.
2. Дубенок Н. Н., Болотин Д. А., Фомин С. Д. Отзывчивость различных сортов картофеля на водный режим светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 22-28.
3. Чуян О. Г., Глазунов Г. П., Караулова Л. Н., Митрохина О. А., Афонченко Н. В., Золотухин А. Н., Двойных В. В. Оценка роли климатических, почвенных и агротехнических факторов в формировании ресурсов продуктивности агроландшафтов Центрального Черноземья. Метеорология и гидрология. 2022. № 6. С. 79-87.
4. Ahmadi S., Agharezaee M., Kamgar-Haghighi A., Sepaskhah A. Water-saving irrigation strategies affect tuber water relations and nitrogen content of potatoes. International Journal of Plant Production. 2016. № 10 (3). Pp. 275-288.
5. Ávila-Valdés M., Quinet S., Lutts J. P., Martínez X. C., Lizana Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during Tuber bulking under two water availability scenarios. Field Crops Res. 2020. V. 251. Article107786.
6. Devaux J.-P., Goffart A., Petsakos P., Kromann M., Gatto J., Okello V., Suarez G. Hareau Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems The Potato Crop, Springer International Publishing, Cham. 2020.
7. Elhani S., Haddadi M., Csákvári E., Zantar S., Hamim A., Villányi V., Douaik A., Bánfalvi Z. Effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield, irrigation water-use efficiency and some potato (*Solanum tuberosum* L.) quality traits under glasshouse conditions. Agric. Water Manage. 2019. V. 224. Article105745.
8. Elzner P., Jůzl M., Kasal P. Effect of different drip irrigation regimes on tuber and starch yield of potatoes. Plant Soil Environ. 2018. V. 64. Pp. 546-550.
9. Ierna A., Mauromicale G. Sustainable and profitable nitrogen fertilization management of potato. Agronomy. 2019. No 9. P. 582.
10. Ierna A., Mauromicale G. How moderate water stress can affect water use efficiency indices in potato. Agronomy. 2020. No 10. P. 1034.

11. Ierna A., Mauromicale G. How irrigation water saving strategy can affect tuber growth and nutritional composition of potato. *Scientia Horticulturae*. 2022. V. 299. No 111034.
12. FAO statistical database. Production. Crops. Rome, Italy. FAO, 2018. <http://faostat.fao.org>.
13. Wagg S., Hann Y., Kupriyanovich S. Li. Timing of short period water stress determines potato plant growth, yield and tuber quality. *Agric. Water Manage.* 2021. No 247. Article 106731.

References

1. Banadysev S. A. Opportunities to reduce drought damage in potato growing. Effects of drought on plant and tuber development. *Our agriculture*. 2022. №17 (289). Pp. 41-47.
2. Dubenok N. N., Bolotin D. A., Fomin S. D. Responsiveness of various varieties of potatoes to the water regime of light chestnut soils of the Lower Volga region. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2018. № 4 (52). Pp. 22-28.
3. Chuyan O. G., Glazunov G.P., Karaulova L.N., Mitrokhina O.A., Afonchenko N.V., Zolotukhin A.N., Dvoynikh V.V. Assessment of the role of climatic, soil and agrotechnical factors in the formation of productivity resources of agroland shafts of the Central Black Earth Region. *Meteorology and hydrology*. 2022. № 6. Pp. 79-87.
4. Ahmadi S., Agharezaee M., Kamgar-Haghighi A., Sepaskhah A. Water-saving irrigation strategies affect tuber water relations and nitrogen content of potatoes. *International Journal of Plant Production*. 2016. № 10 (3). Pp. 275-288.
5. Ávila-Valdés M., Quinet S., Lutts J. P., Martínez X. C., Lizana Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during Tuber bulking under two water availability scenarios. *Field Crops Res.* 2020. V. 251. Article107786.
6. Devaux J.-P., Goffart A., Petsakos P., Kromann M., Gatto J., Okello V., Suarez G. Hareau Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems *The Potato Crop*, Springer International Publishing, Cham. 2020.
7. Elhani S., Haddadi M., Csákvári E., Zantar S., Hamim A., Villányi V., Douaik A., Bánfalvi Z. Effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield, irrigation water-use efficiency and some potato (*Solanum tuberosum* L.) quality traits under glasshouse conditions. *Agric. Water Manage.* 2019. V. 224. Article105745.
8. Elzner P., Jůzl M., Kasal P. Effect of different drip irrigation regimes on tuber and starch yield of potatoes. *Plant Soil Environ.* 2018. V. 64. Pp. 546-550.
9. Ierna A., Mauromicale G. Sustainable and profitable nitrogen fertilization management of potato. *Agronomy*. 2019. No 9. P. 582.
10. Ierna A., Mauromicale G. How moderate water stress can affect water use efficiency indices in potato. *Agronomy*. 2020. No 10. P. 1034.
11. Ierna A., Mauromicale G. How irrigation water saving strategy can affect tuber growth and nutritional composition of potato. *Scientia Horticulturae*. 2022. V. 299. No 111034.
12. FAO statistical database. Production. Crops. Rome, Italy. FAO, 2018. <http://faostat.fao.org>.
13. Wagg S., Hann Y., Kupriyanovich S. Li. Timing of short period water stress determines potato plant growth, yield and tuber quality. *Agric. Water Manage.* 2021. No 247. Article 106731.

Информация об авторах

Васильева Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, учёный секретарь ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5469-3952>, e-mail: vtn1972@mail.ru

Мушинский Александр Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3761-1836>, e-mail: san2127@yandex.ru

Саудабаева Алия Жонысовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), <https://orcid.org/0000-0002-5274-8657>, e-mail: aleka_87@bk.ru

Author's Information

Vasilyeva Tatyana Nikolaevna, Candidate of Biological Sciences, Scientific Secretary of the Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, st. January 9, 29), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5469-3952>, e-mail: vtn1972@mail.ru

Mushinskiy Aleksander Alekseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of Department, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, st. January 9, 29), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3761-1836>, e-mail: san2127@yandex.ru

Saudabaeva Aliya Zhonysovna, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, st. January 9, 29), <https://orcid.org/0000-0002-5274-8657>, e-mail: aleka_87@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-10

SPATIO-TIME ANALYSIS OF THE TRANSFORMATION OF THE CLUSTER ARBORETUM PARK «VNIALMI» BIORERESOURCE COLLECTION

V. V. Vishnyakova

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

Corresponding author E-mail: vishnyakova-vv@vfanc.ru

Received 26.07.2023

Submitted 10.10.2023

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 arboretum expositions and their renovation into bioresource artificial and landscaped landscape spaces of recreational type in low-forest regions of Russia" (Registration number: 121041200195-4) financing The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Summary

The article presents studies of spatiotemporal transformations of cluster bioresource collections of the "VNIALMI" arboretum park. Raster and vector multi-temporal maps of the spatial distribution of tree and shrub plantings of the arboretum have been developed. The localization of territories most frequently exposed to fires for the period from 2004 to 2023 has been identified. A cartographic basis for the geodatabase of the bioresource collection of the arboretum of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences has been formed for the purpose of further restoration and management.

Abstract

Introduction. Dendrology collections, including arboretums and arboreta, are significant elements of the natural and ecological framework of urbanized territories, performing the most important functional tasks: sanitary, hygienic, recreational, aesthetic, etc. Being involved in the process of providing ecosystem services as a natural resource, arboretum collections experience significant anthropogenic and technogenic impacts, which leads to inevitable qualitative and quantitative changes. The relevance of assessing the spatial and temporal transformations of tree and shrub plantations on the territory cluster arboretum park of the «VNIALMI» is due to the need to understand the current situation in order to plan measures to restore the resource potential and maintain the further sustainable development of the collection. **Object.** The objects of study are arboretum collections on the territory of the Volgograd cluster arboretum park «VNIALMI», located in the southern part of the Sovetsky district of the city of Volgograd, with an area of 27.7 hectares (cadastral number 34:34:060061:10). **Materials and methods.** The method of cartographic and aerospace monitoring was used in the work. A retrospective analysis of the spatial transformations of the arboretum

collection was carried out using ultra-high resolution satellite images obtained from the Google Earth Pro service. Georeferencing of satellite images, their subsequent interpretation and calculations of quantitative indicators were carried out in the Quantum GIS 3.18 geoinformation system. For mapping tree and shrub plantations, the method of photo-evaluation was used. **Results and conclusions.** As a result of the research, spatial and temporal transformations were revealed and the current spatial distribution of the bioresource collection on the territory of the arboretum was determined. In accordance with the phenological phases of plant communities and the climatic features of the study region, the optimal period was determined, from July to September, for obtaining initial satellite images for deciphering tree and shrub plantations. In the process of mapping, geocoding and photo standardization of data on the arboretum collection, raster and vector multitemporal maps of the spatial distribution of tree and shrub plantations of the arboretum were developed. Quantitative indicators of the spatial transformation of the collection are determined. A decrease in the area of the territory occupied by tree and shrub plantations was established from 15.08 to 6.83 hectares for the period from 2004 to 2023. The lowest area indicator was revealed - 4.75 hectares (17% of the total area of the arboretum) – in 2015. The localization of the areas that were most often exposed to fires during the studied period was determined. The localization of the areas that were most often exposed to fires during the studied period was determined. The cartographic basis of the geodatabase of the bioresource collection of the cluster arboretum park «VNIALMI» (FSC Agroecology RAS) for further restoration and management has been formed.

Key words: arboretums, arboretum collections, woody-shrub stands, spatial distribution of stands, mapping, photoethaloning.

Citation. Vishnyakova V. V. Spatio-time analysis of the transformation of the cluster arboretum park «VNIALMI» bioresource collection. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 102-112. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-10.

Author's contribution. The author of this study collected material, analyzed the data and wrote the paper.

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

УДК 712.4:625.77

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАЦИИ БИОРЕСУРСНОЙ КОЛЛЕКЦИИ КЛАСТЕРНОГО ДЕНДРОЛОГИЧЕСКОГО ПАРКА «ВНИАЛМИ»

В. В. Вишнякова, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН
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) финансирование Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Актуальность. Дендрологические коллекции, в том числе дендрарии и дендропарки, являются значимыми элементами природно-экологического каркаса урбанизированных территорий, выполняющими важнейшие функциональные задачи: санитарно-гигиеническую, рекреационную, эстетическую и др. Будучи вовлеченными в процесс оказания экосистемных услуг в качестве природного ресурса, дендрологические коллекции испытывают значительные воздействия антропогенного и техногенного характера, что приводит к неизбежным качественным и количественным изменениям. Актуальность оценки пространственно-временных трансформаций древесно-кустарниковых насаждений на территории кластерного

дендрологического парка «ВНИАЛМИ» обусловлена необходимостью понимания сложившейся ситуации в целях планирования мероприятий для восстановления ресурсного потенциала и поддержания дальнейшего устойчивого развития коллекции. **Объектами** исследования являются дендрологические коллекции на территории Волгоградского кластерного дендрологического парка «ВНИАЛМИ» (ФНЦ агроэкологии РАН), расположенного в южной части Советского района города Волгограда. Площадь земельного участка составляет 27,7 га, кадастровый номер: 34:34:060061:10. **Материалы и методы.** В работе использовался метод картографо-аэрокосмического мониторинга. Ретроспективный анализ пространственных трансформаций дендрокolleкции проводился по спутниковым снимкам сверхвысокого разрешения, полученным с сервиса Google Earth Pro. Геопривязка спутниковых снимков, последующее их дешифрирование и расчеты количественных показателей осуществлялись в геоинформационной системе Quantum GIS 3.18. Для картографирования древесно-кустарниковых насаждений использовался метод фотоэталонирования. **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований были выявлены пространственно-временные трансформации и определено современное пространственное распределение биоресурсной коллекции на территории дендрария. В соответствии с фенологическими фазами растительных сообществ и климатическими особенностями региона исследования был определен оптимальный период (с июля по сентябрь) получения исходных космоснимков для дешифрирования древесно-кустарниковых насаждений. В процессе картографирования, геокодирования и фотоэталонирования данных о дендрологической коллекции были разработаны растровые и векторные разновременные карты пространственного распределения древесно-кустарниковых насаждений дендрария. Определены количественные показатели пространственной трансформации коллекции. Установлено снижение площади территории, занятой древесно-кустарниковыми насаждениями, с 15,08 до 6,83 га за период с 2004 по 2023 годы. Выявлен наиболее низкий показатель площади – 4,75га (17% от общей площади дендрария) – в 2015 году. Определена локализация участков, наиболее часто подвергавшихся воздействию пожаров за исследованный период. Сформирована картографическая основа базы геоданных биоресурсной коллекции кластерного дендрологического парка «ВНИАЛМИ» (ФНЦ агроэкологии РАН) для дальнейшего восстановления и управления.

Ключевые слова: дендрарии, дендрологические коллекции, древесно-кустарниковые насаждения, пространственное распределение насаждений, картографирование, фотоэталонирование.

Цитирование. Вишнякова В. В. Пространственно-временной анализ трансформации биоресурсной коллекции кластерного дендрологического парка «ВНИАЛМИ». *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 102-112. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-10.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования собрал материал, проанализировал данные и написал рукопись.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Коллекции древесных растений, в том числе дендрарии и дендропарки, по-прежнему остаются важным компонентом природно-экологического каркаса урбо- и агроландшафтов, имеющим также большое научное, познавательное и образовательное значение. Дендрологические кластерные образования в городской инфраструктуре выполняют ряд важнейших функциональных задач: санитарно-гигиеническую, рекреационную, эстетическую и др. При этом на все элементы природно-экологического каркаса урбанизированных территорий оказывается неизбежное отрицательное воздействие, наносится ущерб запасам и качеству биоты, снижается устойчивость экосистем, что, в свою очередь, понижает возможности дендрологических комплексов в выполнении вышеозначенных функций. Таким образом, человек непосредственно использует определённый природный (лесной, ландшафтный) ресурс, который при ограничении величин воздействия может восстанавливаться. Согласно эко-

логической классификации природных ресурсов такой ресурс исчерпаем и возобновляем, но при условии сохранения экосистем в устойчивом состоянии. Дендрарии и дендропарки в условиях малолесных регионов России являются преимущественно искусственными образованиями, соответственно, этот ресурс необходимо восполнять и наращивать человеком искусственно (Семенютина и др., 2015).

В связи с необходимостью понимания сложившейся ситуации, а также планирования мероприятий для восстановления ресурсного потенциала и поддержания дальнейшего устойчивого развития дендрологических коллекций актуальным становится мониторинг, в том числе проведение периодической инвентаризации, включающей комплексную оценку состояния интродукционного ресурса.

Большинство научных работ посвящено изучению и оценке состояния отдельных видов интродуцентов на территории дендрария, их репродуктивных способностей, устойчивости. Представлены работы общего характера о состоянии дендрофлоры и влиянии на нее экологических условий [4, 9, 10]. Исследования пространственно-временных трансформаций дендрологических коллекций, в том числе их оценки в ретроспективе, а также геопозиционирование и картографирование насаждений на территории дендрария никогда ранее не проводились.

Целью данного исследования является пространственно-временной анализ трансформаций и определение современного пространственного распределения биоресурсной коллекции на территории дендрария «ФНЦ Агроэкологии РАН».

Материалы и методы. Объектами исследования являются дендрологические коллекции на территории Волгоградского кластерного дендрологического парка ВНИАЛМИ (ФНЦ агроэкологии РАН), который начал создаваться с 1962 года под руководством профессора П. И. Чернявского. Дендрарий ВНИАЛМИ был заложен по географическому принципу, методом родовых комплексов на комплексных светло-каштановых среднесуглинистых почвах (Семенютина, 2013). В административном отношении участок, занятый дендрарием, относится к Советскому району города Волгограда, его площадь составляет около 27,7 га. С западной, восточной и северной сторон участок ограничен автомобильными магистралями, с южной стороны примыкает к территории, занятой гипермаркетами и торговым центром. В геоморфологическом отношении изучаемая территория принадлежит к правобережному денудационному склону реки Волги, в пределах юго-восточной части Приволжской возвышенности с интенсивным овражно-балочным расчленением. Рельеф исследуемой территории полого-равнинный, осложнен наличием небольшой частично засыпанной балки, пересекающей дендрарий, с запада на юго-восток, с раскрытием в реку Волгу. Почвы природные слабоизмененные каштановые типичные и солонцеватые, а также стратоземы светло-гумусовые в днищах балок [1]. Неблагоприятные климатические условия являются главным лимитирующим фактором, определяющим возможность выращивания древесно-кустарниковых растений [2, 10].

Оперативную, а также ретроспективную информацию о состоянии и пространственном размещении дендроколлекции на исследуемой территории с требуемой детальностью и разрешением содержат данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Основной составляющей таких исследований является картографирование ландшафтов по сериям разновременных космических снимков на базе программного обеспечения QGIS, позволяющее осуществлять оценку состояния и динамику изменений пространственного распределения интродукционных ресурсов дендрологических коллекций.

В работе использовался метод картографо-аэрокосмического мониторинга. Ретроспективный анализ пространственных трансформаций дендроколлекции проводился по спутниковым снимкам сверхвысокого разрешения различных лет, полученных с

сервиса Google Earth Pro. Геопривязка спутниковых снимков по базовой карте Google и последующее их дешифрирование осуществлялись в геоинформационной системе Quantum GIS 3.18. Расчеты количественных показателей площадей участков производились в системе Quantum GIS 3.18.

Для картографирования древесно-кустарниковых насаждений использовался метод фотоэталонирования, который строится на сравнении комплекса характеристик (габариты, форма, фактура, текстура, цвет и т.п.), определяемых по космоснимкам, с натуральными параметрами исследуемых объектов. Используемая методика, основана на предложенной Б. В. Виноградовым технологии, и получила развитие в работах К. Н. Кулика, В. Г. Юферева [3], А. С. Рулева (Рулев и др., 2010), Н. Н. Таранова (Таранов, 2021) и др. [13].

Результаты и их обсуждение. Для картографирования древесно-кустарниковых насаждений на территории дендрария были изучены космо- и аэрофотоснимки с 2004 по 2023 годы, размещенные на сервере Google Earth. Выбор источника обусловлен, в первую очередь, высокой степенью разрешения снимков, а также возможностью ретроспективы. Космоснимок 2004 года – наиболее ранний, из доступных источников, обладающий достаточным качеством для возможности дешифрирования. Для решения исследовательских задач были отобраны космоснимки, соответствующие следующим критериям: съемка проходила в сезон вегетации растений и в безоблачный период; снимки должны быть выполнены в период с июля по сентябрь месяцы. Выбор месяцев съемки лимитирован фенологическими фазами растительных сообществ и климатическими особенностями региона исследования. В условиях засушливого лета, характерного для города Волгограда, на озелененных объектах, при отсутствии полива, травянистый покров уже практически высыхает под воздействием высоких температур, при этом проекции крон деревьев и кустарников контрастно выделяются зеленым тоном на фоне охристых оттенков участков с остатками травянистого покрытия и открытым грунтом.

На основе отобранных космоснимков выполнены разновременные космокарты исследуемой территории. Разработаны карты пространственного распределения древесно-кустарниковых насаждений на территории дендрария в 2004, 2017, 2019, 2022 и 2023 годах (рисунок 1). Космоснимок, датированный 4-м мая 2023 года, не соответствует критериям отбора, тем не менее он был включен в исследование с целью повышения уровня актуализации результатов.

Ретроспективный анализ пространственного распределения древесно-кустарниковых насаждений на территории дендрария позволил выявить динамику трансформации дендрологической коллекции. Территориально насаждения располагались преимущественно в северной и северо-восточной частях дендрария, что обусловлено особенностями рельефа и историей освоения территории. Юго-западная часть территории отделена балкой и представляет собой открытый степной участок, практически без древесно-кустарниковых насаждений. Серьезные изменения пространственного распределения насаждений на территории отмечаются с 2015 года. Выпады фиксируются, преимущественно, в северной и северо-восточной частях. Деформации отмечаются также и в южной части дендрария.

В 2004 году коллекция дендрария еще находилась в удовлетворительном состоянии (согласно отчетам и описаниям очевидцев) и занимала участок площадью 15,08 га, что составляет 54% от всей исследуемой территории. В период с 2004 года по настоящее время фиксируется стабильный тренд на снижение площади, занятой древесно-кустарниковыми насаждениями на территории дендрария (рисунок 2).



Рисунок 1 – Динамика трансформации дендрологической коллекции на территории дендрария «ФНЦ Агроэкологии РАН»: пространственное распределение в период с 2004 по 2023 годы

Figure 1 – Dynamics of the transformation of the arboretum collection on the territory of the arboretum of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences: spatial distribution in the period from 2004 to 2023

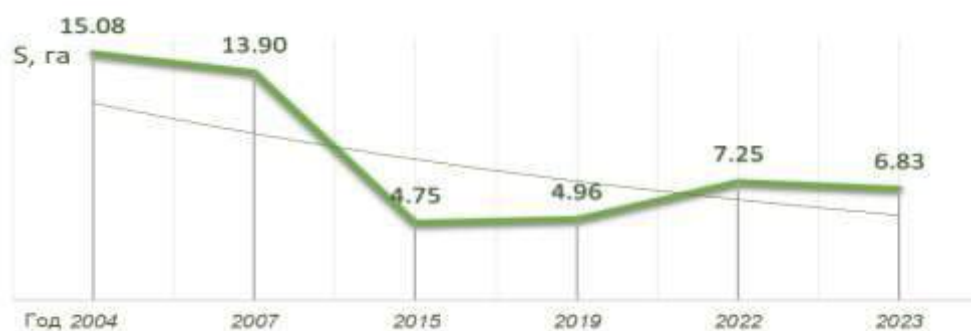


Рисунок 2 – Динамика изменения площади, занятой древесно-кустарниковыми насаждениями на территории дендрария с 2004 по 2023 гг.

Figure 2 – Dynamics of changes in the area occupied by tree and shrub plantations on the territory of the arboretum from 2004 to 2023

В 2007 году площадь участка, занятого деревьями и кустарниками составила 13,9 га, т.е. 50% общей площади дендрария. В 2015 году зафиксировано резкое сокращение коллекции до 4,75 га (17%), в 2019 году ситуация остается практически без изменений – 4,96 га. В 2022 году фиксируется небольшое повышение показателя до 7,25 га (26%), в 2023 году опять происходят изменения в сторону уменьшения – 6,83 га. Таким образом баланс между озелененной территорией и открытыми участками стабильно смещается в пользу последних (рисунок 3).

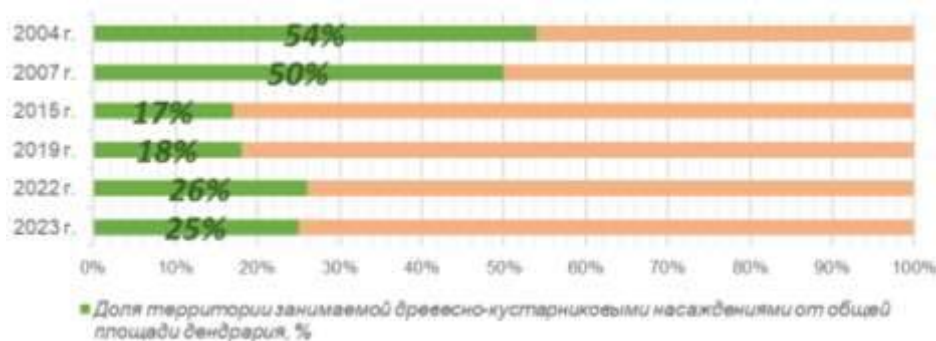


Рисунок 3 – Баланс между участками, занятыми дендрологической коллекцией и открытыми участками на территории дендрария в период с 2004 по 2023 гг.

Figure 3 – Balance between the areas occupied by the arboretum collection and open areas on the territory of the arboretum in the period from 2004 to 2023

Традиционно причиной деградации городских насаждений выступают факторы активного антропогенного и техногенного воздействия. По материалам исследования можно констатировать результаты негативных воздействий (факторы и угрозы) на дендрологические коллекции в течение длительного периода. К ним относится деградация растительности – диффузное и куртинное усыхание деревьев и кустарников вследствие недостаточного орошения и вытаптывания почвы. Загрязнение воздушного бассейна, что характерно для современной урбанизированной среды и напрямую связано с воздействием выбросов автотранспортом (объект расположен между двумя городскими автомагистралями). Усугублению проблемных ситуаций, не связанных с состоянием окружающей природной среды, способствует отсутствие элементов инфраструктуры и благоустройства – ограждений и буферной зоны, а также возрастающие темпы застройки прилегающих районов. В результате наблюдается повышение несанкционированного рекреационного использования и, как следствие, замусоренность территории, вандализм, пожары [11, 12].

Ретроспективный анализ космofотоснимков позволил выявить и определить локализацию и площадь ландшафтных пожаров, происходивших на территории дендрария за последние 20 лет. Именно пожары явились причиной существенной деформации коллекции, отраженной в материалах проведенного исследования. Так резкому сокращению площади, занимаемой коллекцией дендрария в 2015 году, предшествовали обширные низовые пожары в 2014 году (рисунок 4).



Рисунок 4 – Карты ландшафтных пожаров на территории дендрария, выявленных по ретроспективным космоснимкам: 1 – 2014г., 2 – 2016г., 3 – 2020г.

Figure 4 – Maps of landscape fires on the territory of the arboretum, identified by retrospective satellite images: 1 – 2014, 2 – 2016, 3 – 2020.

На рисунке 4 представлены карты пожаров, выявленные на космоснимках 2014, 2016 и 2020 годов. Площади участков, подвергшихся горению (выделены желтым цветом) составили соответственно: 12,9 га; 1,2 га; 2,4 га.

Анализ архивных космоснимков показал, что в 2017 году на территории дендрария происходили продолжительные обширные низовые пожары в течение августа и сентября месяцев (рисунок 5).

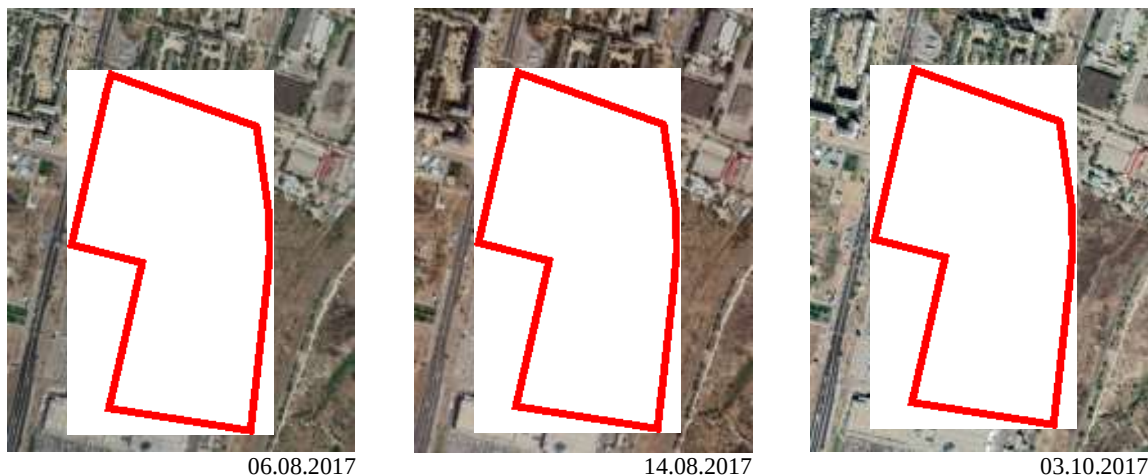


Рисунок 5 – Космоснимки территории дендрария за 2017 год, фиксирующие продолжительные обширные низовые пожары.

Figure 5 – Space images of the arboretum territory for 2017, fixing long extensive ground fires

Суммарная площадь выгоревшей территории дендрария в 2017 году составила 17,14 га (рисунок 6). Всего за период с 2004 по 2023 годы по результатам геоинформационного анализа совокупная площадь горения составила 33,8 га, что превышает площадь самого дендрария в 1,22 раза.



Рисунок 6 – Участки, на которых выявлены следы ландшафтных пожаров, зафиксированных в течение 2017 года
Figure 6 – Areas showing traces of landscape fires recorded during 2017



Рисунок 7 – Участки дендрария, трансформированные ландшафтными пожарами
Figure 7 – The arboretum areas transformed by landscape fires

Средствами геоинформационного анализа на территории дендрария были выявлены все участки, на которых фиксировались следы пожаров за исследованный период, их общая площадь составила 21,76 га, т.е. 80% всей территории дендрария (рисунок 7). Центральная часть территории наиболее часто оказывалась подвержена горению. Площадь участков, на которых пожары фиксировались от 2-х и более раз, в совокупности составляет 7,48 га, т.е. 27% от общей площади дендропарка.

Прямая зависимость изменения площади коллекции от пирогенной ситуации представлена на графике ниже (рисунок 8).



Рисунок 8 – Динамика трансформации площади дендрологической коллекции в зависимости от пожаров

Figure 8 – Dynamics of transformation of the area of the arboretum collection depending on fires

Многочисленные пожары, происходившие на территории дендрария, являются самой существенной причиной современной деформации дендрологической коллекции.

Выводы. В результате проведенных исследований были выявлены пространственно-временные трансформации и определено современное пространственное распределение биоресурсной коллекции на территории дендрария. Было установлено, что в соответствии с фенологическими фазами растительных сообществ и климатическими особенностями региона исследования, для дешифрирования древесно-кустарниковых насаждений в качестве исходных целесообразно выбирать космоснимки, полученные в период с июля по сентябрь месяцы. В процессе картографирования, геокодирования и фотоэталонирования данных о дендрологической коллекции были разработаны растровые и векторные разновременные карты пространственного распределения древесно-кустарниковых насаждений дендрария. Установлено, что за исследуемый период, с 2004 по 2023 гг., произошло существенное снижение площади территории, занятой древесно-кустарниковыми насаждениями: с 15,08 до 6,83 га. Наиболее низкий показатель был выявлен в 2015 году – 4,75 га, что составляет 17% от общей площади дендрария. Анализ архивных космоснимков показал, что основной причиной этих изменений являются пожары. Обработка результатов, полученных в ходе ГИС-анализа пространственных данных, позволила выявить локализацию участков, наиболее часто подвергавшихся воздействию пожаров за исследованный период. Соответственно, эти территории требуют особенного внимания при охране и проведении профилактических противопожарных мероприятий.

Полученные результаты позволяют сформировать картографическую основу базы гео-данных биоресурсной коллекции дендрария ФНЦ Агроэкологии РАН с целью дальнейшего восстановления и управления.

Conclusions. As a result of the research, spatial and temporal transformations were revealed and the current spatial distribution of the bioresource collection on the territory of the arboretum was determined. It was found that in accordance with the phenological phases of plant communities and the climatic features of the study region, for the interpretation of tree and shrub plantations, it is advisable to choose satellite images obtained in the period from July to September as initial ones. In the process of mapping, geocoding and photo standardization of data on the arboretum collection, raster and vector multitemporal maps of the spatial distribution of tree and shrub plantations of the arboretum were developed. It was established that during the study period, from 2004 to 2023, there was a significant decrease in the area of the territory occupied by tree and shrub plantations: from 15.08 to 6.83 ha. The lowest indicator was revealed in 2015 – 4.75 hectares, which is 17% of the total area of the arboretum. Analysis of archival space images showed that the main cause of these changes is fires,

the direct dependence on which is shown in the Figure 8. The processing of the results obtained in the course of the GIS analysis of spatial data made it possible to identify the localization of the areas that were most often affected by fires during the study period. Accordingly, these areas require special attention in the protection and implementation of preventive fire prevention measures.

The results obtained make it possible to form a cartographic basis for the geodatabase of the bioresource collection of the arboretum of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences for the purpose of further restoration and management.

Библиографический список

1. Гордиенко О. А. Изменение естественных каштановых почв кластерного дендрологического парка «ВНИАЛМИ» под влиянием технопедогенеза. Известия НВ АУК. 2022. № 1 (65). С. 199-208.
2. Кулик К. Н., Рулев А. С., Ткаченко Н. А. Изменения климата и агролесомелиорация. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 58-67.
3. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юфев В. Г. Геоинформационное моделирование структуры и динамики агролесоландшафтов. Экосистемы: экология и динамика. 2017. № 2. С. 5-20.
4. Семенютина А. В., Свинцов И. П., Хужахметова А. Ш., и др. Мобилизация дендрологических ресурсов и пути сохранения их биоразнообразия в малолесных регионах. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2021. 288 с.
5. Рулев А. С., Кошелева О. Ю. Опыт картографирования ландшафтной структуры города Волгограда. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2010. № 2. С. 19-24.
6. Семенютина А. В. Дендрофлора лесомелиоративных комплексов. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт, 2013. 268 с.
7. Семенютина А. В., Свинцов И. П., Кулик Д. К., и др. Справочник-путеводитель: питомник древесных растений как объект научно-исследовательского, экологического и культурно-просветительского профиля. Волгоград, 2015. 64 с.
8. Таранов Н. Н., Вишнякова В. В. Геоинформационное картографирование растительности в окрестностях системы озер Большая и Малая Невидимки. Наукосфера. 2021. № 9-2. С. 40-45.
9. Хужахметова А. Ш., Семенютина В. А., Лазарев С. Е., и др. Характеристика и особенности ростовых процессов древесных растений в засушливом регионе. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2 (62). С. 60-64.
10. Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Лазарев С. Е. Оценка пространственной структуры древесно-кустарниковых насаждений города Волгограда по данным мультиспектральных космических снимков. Известия НВ АУК. 2022. № 3 (67). С. 218-232.
11. Semenytina A. V., Podkovyrov G. V., Khuzhahmetova A. Sh., Svintsov I. P., Semenytina V. A., Podkovyrov I. Yu. Engineering implementation of landscaping of lowforest regions. International journal of mechanical engineering and technology. International journal of mechanical engineering and technology. 2018. Vol. 9. Iss. 10. P. 1415–1422.
12. Semenytina A. V., Podkovyrov I. Y., Huzhahmetova A. Sh., Semenytina V. A., Podkovyrov G. V. Mathematical justification of the selection of wood plants biodiversity in the reconstruction of objects of gardening. International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. Vol. 110. № 2. P. 361–368.
13. Yang G., Liu J., Zhao C., et al. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives. Front Plant Sci. 2017. № 8. 1111.

References

1. Gordienko O. A. Changes in natural chestnut soils of the VNIALMI cluster dendrological park under the influence of technopedogenesis. Izvestiya NV AUK. 2022. No 1 (65). Pp. 199-208.
2. Kulik K. N., Rulev A. S., Tkachenko N. A. Climate change and agroforestry. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: science and higher professional education. 2017. No 2 (46). Pp. 58-67.
3. Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V. G. Geoinformation modeling of the structure and dynamics of agroforest landscapes. Ecosystems: ecology and dynamics. 2017. No 2. Pp. 5-20.

4. Semenyutina A. V., Svintsov I. P., Khuzakhmetova A. Sh., et al. Mobilization of arboretum resources and ways of preserving their biodiversity in sparsely forested regions. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2021. 288 p.
5. Rulev A. S., Kosheleva O. Yu. Experience in mapping the landscape structure of the city of Volgograd. Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2010. No 2. Pp. 19-24.
6. Semenyutina A. V. Dendroflora of forest reclamation complexes. Volgograd: All-Russian Research Institute of Agroforestry, 2013. 268 p.
7. Semenyutina A. V., Svintsov I. P., Kulik D. K., et al. Handbook-guide: nursery of woody plants as an object of research, environmental, cultural and educational profile. Volgograd, 2015. 64 p.
8. Taranov N. N., Vishnyakova V. V. Geoinformation mapping of vegetation in the vicinity of the system of lakes Bolshaya and Malaya Nevidimka. Naukosphere. 2021. No 9-2. Pp. 40-45.
9. Khuzhakhmetova A. Sh., Semenyutina V. A., Lazarev S. E., et al. Characteristics and features of the growth processes of woody plants in an arid region. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2021. V. 16. No 2 (62). Pp. 60-64.
10. Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Lazarev S. E. Estimation of the spatial structure of tree and shrub plantations in the city of Volgograd according to multispectral space images. Izvestiya NV AUK. 2022. No 3 (67). Pp. 218-232.
11. Semenyutina A. V., Podkovyrova G. V., Khuzhahmetova A. Sh., Svintsov I. P., Semenyutina V. A., Podkovyrov I. Yu. Engineering implementation of landscaping of lowforest regions. International journal of mechanical engineering and technology. International journal of mechanical engineering and technology. 2018. Vol. 9. Iss. 10. P. 1415-1422.
12. Semenyutina A. V., Podkovyrov I. Y., Huzhahmetova A. Sh., Semenyutina V. A., Podkovyrova G. V. Mathematical justification of the selection of wood plants biodiversity in the reconstruction of objects of gardening. International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. Vol. 110. № 2. Pp. 361-368.
13. Yang G., Liu J., Zhao C., et al. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives. Front Plant Sci. 2017. № 8. 1111.

Информация об авторах

Вишнякова Вера Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории биоэкологии древесных растений, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 97), ORCID: 0000-0002-4378-9342, e-mail: vishnyakova-vv@vfanc.ru

Author's Information

Vishnyakova Vera Vladimirovna, Researcher at the Laboratory bioecology of woody plants, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky av., 97), e-mail: vishnyakova-vv@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-11

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL TESTING OF POTATO VARIETIES WITH PIGMENTED FLESH COLOR

O. G. Gichenkova¹, Yu. A. Laptina², P. S. Malikova¹, U. A. Laptina¹

¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

²*Federal research Center "Nemchinovka"
Moscow region, Odintsovo, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ylaptina82@mail.ru

Received 03.09.2023

Submitted 20.11.2023

Abstract

Introduction. According to the results of statistical data in the Volgograd region, the area under potatoes has increased by 877.05 hectares since 2022 and amounted to 3906.95 hectares in 2023. The current trend allows us to judge potatoes as the most popular, often found in the diet product.

However, do not forget about the risks that arise as a result of excessive consumption of this product. Agroecological testing of table varieties for healthy nutrition and their assessment of adaptive capacity will allow expanding the potato assortment with a set of biochemical indicators for the interested part of the population, and the results obtained will contribute to a larger-scale production of this product in the conditions of the Volgograd region. **The purpose of the research.** Agroecological testing of potato varieties and hybrids with pigmented pulp in the conditions of the Lower Volga region. **Object.** Five varieties and two hybrids of potatoes with a high content of anthocyanins. **Materials and methods.** The experiments were laid on an experimental irrigated area of the Volgograd State Agrarian University. The zoned Nevsky variety was the control. The planting rate is 40 thousand pieces per hectare. Zonal cultivation technology and an optimized water consumption system were used with the maintenance of the soil water regime of at least 80% HB in a layer of 0.4 m due to 13-15 watering at a watering rate of 240 m³/ha and an irrigation rate for vegetation of 3120-3600 m³/ha, the coefficient of ecological stability was determined by the method of S. A. Eberhart, W. A. Russell. **Results and conclusions.** The conducted research allowed us to identify promising, highly productive and plastic varieties resistant to stress factors of the region. Among the studied potato varieties and hybrids with pigmented pulp, the hybrid 16182 and the Gourmet variety bred on the basis of the A.G. Lorch Potato FITZ can be considered the most promising for cultivation in the conditions of the Volgograd region. Also, when cultivating potatoes using intensive technology, it is recommended to cultivate the Northern Lights variety.

Key words: *pigmented potato pulp, anthocyanins, potatoes, colored potato pulp, potato varieties.*

Citation. Gichenkova O. G., Laptina Yu. A., Malikova P. S., Laptina U. A. Ecological and geographical testing of potato varieties with pigmented flesh color. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 112-124. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-11.

Author's contribution. All the authors mentioned in this article were directly involved in the research and processing of the data obtained. All authors have read and approved the submitted final version.

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

УДК 633.491

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ С ПИГМЕНТИРОВАННОЙ ОКРАСКОЙ МЯКОТИ

О. Г. Гиченкова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Ю. А. Лаптина², доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

П. С. Маликова¹, аспирант

У. А. Лаптина¹, студент

¹ ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

² Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

Московская область, г. Одинцово, Российская Федерация

Актуальность. По результатам статистических данных в Волгоградской области площадь под картофелем с 2022 года увеличилась на 877,05 га и в 2023 году составила 3906,95 га. Сложившаяся тенденция позволяет судить о картофеле как о самом востребованном, часто встречающемся в рационе питания продукте. Однако не стоит забывать о рисках, которые возникают вследствие чрезмерного потребления в пищу данного продукта. Агроэкологическое испытание столовых сортов для здорового питания и их оценка по адаптационной способности позволят расширить сортимент картофеля с набором биохимических показателей для заинтересованной части населения, а полученные результаты будут способствовать более масштабному производству данного продукта в условиях Волгоградской области. **Цель исследований.** Агроэкологическое испытание сортов и гибридов картофеля с пигментированной мякотью в условиях Нижнего Поволжья. **Объектом** исследований были пять сортов и два гибрида картофеля с повышенным содержанием антоцианов. **Материалы и методы.** Опыты закладывались на

опытном орошаемом участке Волгоградского ГАУ. Районированный сорт Невский являлся контролем. Густота 40 тыс. шт. на гектар. Применялась зональная технология возделывания и оптимизированная система водопотребления с поддержанием водного режима почвы не ниже 80% НВ в слое 0,4 м за счет проведения 13-15 поливов при поливной норме 240 м³/га и оросительной норме за вегетацию 3120-3600 м³/га Коэффициент экологической стабильности определяли по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell. **Результаты исследований.** Проведенные исследования позволили определить перспективные, высокопродуктивные и пластичные сорта устойчивые к стресс факторам региона. Среди изучаемых сортов и гибридов картофеля с пигментированной мякотью наиболее перспективными для возделывания в условиях Волгоградской области можно считать гибрид 16182 и сорт Гурман выведенные на базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха». Также при возделывании картофеля по интенсивной технологии рекомендуется возделывать сорт Северное сияние.

Ключевые слова: пигментированная мякоть картофеля, антоцианы, картофель, цветная мякоть картофеля, сорта картофеля.

Цитирование. Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А., Маликова П. С., Лаптина У. А. Эколого-географическое испытание сортов картофеля с пигментированной окраской мякоти. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 112-124. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-11.

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. Картофель – одна из главных мировых продовольственных культур (15-я по площади и 4-я – по урожаю). Валовой мировой сбор, согласно последним доступным данным ФАО, составляет 359 млн. тонн и занимает второе место после зерновых культур (пшеницы, риса и кукурузы).

В Российской Федерации валовой объем производства намного ниже, чем в Китае (78,2 млн. тонн) и Индии (51,3 млн. тонн), но выше, чем в США, где объем производства картофеля составляет около 20 млн. тонн.

При этом картофель является одним из самых востребованных продуктов питания в мире, и поэтому спрос на новые универсальные сорта, сочетающие высокую стабильную продуктивность и отличные потребительские качества, постоянно растет [2, 7, 11].

Правильно подобранный сортимент позволяет увеличить урожай и повысить качество продукции [1, 9, 13]. Особый интерес представляют сорта, которые снижают риск развития ряда болезней в силу своих генетических особенностей и подходят для диетического питания.

Картофель с пигментированной мякотью имеет более высокую пищевую ценность и содержание антиоксидантных веществ по сравнению с обычными белыми или желтыми сортами картофеля. В частности, пигментированный картофель с фиолетовой или красной мякотью содержит антоцианы, которые являются важными антиоксидантами. Картофель с красным и фиолетовым цветом мякоти обладает значительной диетической ценностью, поскольку содержит полифенольные компоненты с антиоксидантными свойствами, в особенности антоциановые пигменты. Содержание антоцианов в картофеле коррелирует с общим содержанием растворимых фенольных соединений и антиоксидантной активностью. Эти показатели выше у картофеля с окрашенной кожурой и мякотью [12].

Цвет стеблей и листьев картофеля имеет большое значение, так как он является индикатором приспособленности растения. Антоциановые пигменты играют ключевую роль в защите фотосинтезирующих структур и клеточных оболочек от свободных

радикалов и прочих негативных воздействий. Помимо этого, они способствуют улучшению поглощения фосфора и азота из грунта, помогают контролировать осмотические процессы на клеточном уровне, понижают порог замерзания внутриклеточного содержимого, а также способствуют связыванию и изоляции ионов тяжелых металлов [14, 16, 18].

Антоцианы также обладают антимикробной активностью и могут способствовать устойчивости картофеля к заболеваниям. Например, исследования показывают, что картофель с фиолетовой мякотью менее подвержен поражению мокрой гнилью, чем картофель с желтой мякотью [17, 20].

Согласно исследованиям Колдаева В. М и др. [19] фиолетовые сорта картофеля обладают меньшей устойчивостью и антиоксидантной активностью по сравнению с другими овощами с высоким содержанием антоцианов, такими как синий лук и краснокочанная капуста. Однако в процессе хранения содержание антоцианов в фиолетовом картофеле уменьшается всего на 10-15%, что значительно меньше, чем у других овощей (2-кратное уменьшение).

По данным, предоставляемым Международной Федерацией Диабета, отмечается рост пациентов с диагнозом сахарный диабет, особенно в возрастной категории от 20 до 79 лет (537 млн.), что выше прогнозируемых значений. К 2046 году ожидается рост заболеваемости на 46%. В России также отмечается аналогичная тенденция и с 2000 года зафиксирован рост заболеваемости сахарным диабетом в более чем 2 раза [3, 4].

По последним данным Росстата, количество пациентов с СД в РФ на период окончания 2021 г. составило 5 млн. 168,8 тыс. человек [15]. По прогнозам, к 2035 году их число может увеличиться до 11,2 млн. человек [5].

Вопрос расширения ассортимента продуктов питания за счет продуктов, полезных для здоровья и возможных для применения потребителями, страдающих сахарным диабетом и другими сопутствующими болезнями (ожирение, гипертоническая болезнь), на сегодняшний день является как никогда актуальным.

Согласно данным Росстата площади засаженные сортами картофеля с пигментированной мякотью и высоким содержанием антоцианов, в 2020 году составили 154 тыс. га [6].

Производство с/х культур, которыми можно расширить ассортимент потребляемой продукции, развивается медленно, однако спрос на такую продукцию высок, вызывает интерес у сельхозтоваропроизводителей.

Поэтому целью нашего исследования было агроэкологическое испытание пигментированных сортов картофеля с диетическими качествами с целью выявления наиболее адаптивных генотипов для почвенно-климатических условий Волгоградской области.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели была проведена закладка полевого опыта на светло-каштановых почвах. Полевые исследования по подбору и испытанию сортов проводились с 5-ю сортами и 2-мя гибридами с повышенным содержанием антоцианов: Северное сияние, Лекарь, Элексир, Гурман, Гибрид-16182, Гибрид-338-45-82-12, сорт Невский – контроль. Густота 40 тыс. шт. на гектар, при норме посадки 2,3 тонны на гектар. В научно-исследовательской работе применялась зональная агротехника возделывания картофеля.

Погодные условия в годы исследований не совсем отвечали биологическим особенностям культуры и имели существенные различия по сравнению с многолетними данными. Так в мае 2023 года среднесуточная температура была на 2 градуса выше средних значений, а вот количество осадков было вдвое меньше многолетних, в 2022 году май сложился более холодным и увлажненным.

Таблица 1 – Характеристика изучаемых сортов и гибридов
Table 1 – Characteristics of the studied varieties and hybrids

Сорта и гибриды/ Varieties and hybrids	Группа спелости/ Ripeness Group	Цвет кожуры/ Peel color	Цвет мякоти/ Pulp color	Фото/Foto
Невский (st)/ Nevsky (st)	Среднеспелый/ medium - ripe	Желтый/ Yellow	Желтый/ Yellow	
Северное сияние/ Northern lights	Среднеспелый/ medium - ripe	Фиолетовый/ Violet	Фиолетово-белый/ Purple-white	
Лекарь/ The Healer	Среднеспелый/ medium - ripe	Темно фиолетовый/ Dark purple	Фиолетово-белый/ Purple-white	
Эликсир/ Elixir	Среднеранний/ Mid - early	Розовый/ Pink	Кремо-розовый/ Creamy pink	
Гурман/ Gourmet	Среднеранний/ Mid - early	Фиолетовый/ Violet	Фиолетово-белый/ Purple-white	
Гибрид-16182/ Hybrid 16182	Среднеспелый/ medium - ripe	Ярко розовый/ Bright pink	Нежно розовый с белой серединой/ Pale pink with a white middle	
Гибрид-338-45-82-12/ Hybrid 338-45-82-12	Среднеспелый/ medium-ripe	Фиолетовый/ Violet	Бело-фиолетовый/ White-purple	

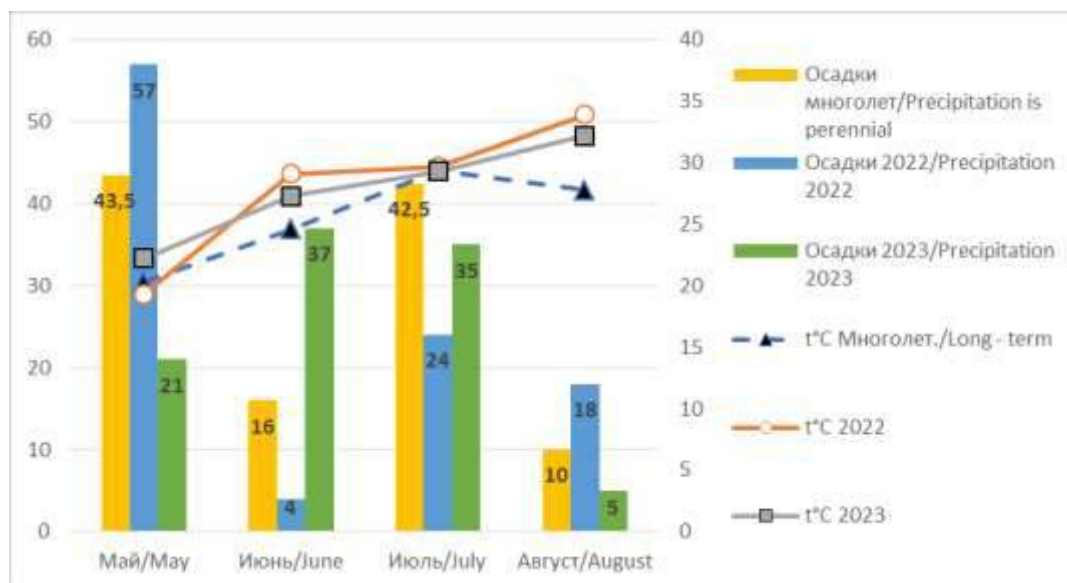


Рисунок 1 – Погодные условия в годы исследований
Figure 1 – Weather conditions during the years of research

В июне температура воздуха была выше среднего во все годы исследований, причем в 2022 году июнь был более жаркий, на 4,5 градуса выше нормы. По количеству выпавших осадков сложились противоположные условия, так в 2022 году это был самый засушливый месяц, а в 2023 это был самый увлажненный месяц, объем осадков составил 37 мм, что на 21 мм или в 2,3 раза больше среднеемноголетних значений.

В июле температурные колебания были не такие значительные, температура воздуха была близка к средним значениям, а вот обеспеченность осадками была недостаточная особенно в 2022 году. В августе отмечены высокие среднесуточные температуры на 4,4 и 6,1 градуса выше нормы, при этом количество осадков в 2022 году почти вдвое превышало норму, а в 2023 году было вдвое меньше.

Таким образом, годы проведения исследований очень отличались погодными условиями, что сказалось на росте и развитии изучаемых сортов и их показателях стрессоустойчивости к неблагоприятным факторам.

Результаты и обсуждение. Анализ результатов исследований показал, что для поддержания водного режима почвы не ниже 80% НВ в слое 0,4 м на посадках сортов и гибридов картофеля было проведено 13-15 поливов нормой 240 м³/га при оросительной норме 3120-3600 м³/га.

Обеспечение растений водой проходило только за счет орошения, в структуре водного баланса в годы исследований лидировала оросительная норма 70,3-73,5%. Пополнение за счет других источников: осадков вегетационного периода и накопленной почвенной влаги – низкое соответственно 5,5-9,8% и 19,9-21%.

Таблица 2 – Структура водопотребления
Table 2 – Structure of water consumption

Го- ды/Yea rs	Расход воды из почвы/ Soil moisture		Осадки / Precipitation		Оросительная норма/ Irrigation rate		Суммарное водопо- требление/ Total water consumption	
	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%
2022	269	5,5	1030	21,0	3600	73,5	4899	100
2023	479	9,8	980	19,9	3120	70,3	4579	100

Оценивая биометрические показатели изучаемых сортов и гибридов, можно сказать, что рост и развитие растений протекали равномерно и погодные условия не повлияли на линейный рост и массу вегетирующих растений, тем не менее, наибольшая высота и количество стеблей во все годы исследований формировалось у сорта Гурман и у гибрида-16182.

Размеры надземной массы во многих случаях являются решающим фактором, определяющим интенсивность накопления и величину урожая. Максимальные приросты биомассы в 2022 году были отмечены у сортов Лекарь, Гурман, Эликсир и у гибрида-16182, которые превысили контроль соответственно на 317, 250, 200, и 300 грамм. Наименьший объем вегетативной массы сформировался у сорта Северное сияние – 333,0 г, что на 67 г меньше контроля.

Таблица 3 – Биометрические показатели различных сортов и гибридов картофеля в фазу цветения
Table 3 – Biometric indicators of various potato varieties and hybrids in the flowering phase

Сорта и гибриды/ Varieties and hybrids	Высота растений, м/ Plant height, m		Кол-во стеблей, шт/ Number of stems, pcs		Масса ботвы, г/ Weight of the tops, g	
	2022 г	2023 г	2022 г	2023 г	2022 г	2023 г
Невский (st)/ Nevsky (st)	0,69	0,74	2	3	400	675
Северное сияние/ Northern lights	0,72	0,79	3	8	333	680
Лекарь/The Healer	0,75	0,77	3	3	717	580
Элексир/ Elixir	0,72	0,70	4	5	600	578
Гурман/ Gourmet	0,80	0,78	3	3	650	670
Гибрид-338-45-82-12/ Hybrid 338-45-82-12	0,72	0,76	3	3	700	670
Гибрид-16182/ Hybrid 16182	0,79	0,82	6	5	500	690

В 2023 году наибольшая вегетативная масса отмечена у двух гибридов и у сорта Гурман, также стоит отметить высокие показатели биомассы у сорта Северное сияние, который в предыдущем году имел минимальные значения.

Таблица 4 – Количество клубней картофеля с одного растения, шт.
Table 4 – Number of potato tubers per plant, pcs

Сорта и гибриды/ Varieties and hybrids	2022 год/year			2023 год/year			Среднее/ Average		
	Товарных/ commodity	Не товарных/ not commercial	Общее/ General	Товарных/ commodity	Не товарных/ not commercial	Общее/ General	Товарных/ Commodity	Не товарных/ Not commercial	Общее/ General
Невский (st)/ Nevsky (st)	3	3	6	6	5	11	4,5	4,0	8,5
Северное сияние/ Northern lights	6	2	8	6	5	11	6	3,5	9,5
Лекарь/The Healer	5	5	10	5	4	9	5	4,5	9,5
Элексир/ Elixir	6	4	10	5	6	11	5,5	5	10,5
Гурман/ Gourmet	4	6	10	5	3	8	4,5	4,5	9,0
Гибрид-338-45-82-12/ Hybrid 338-45-82-12	4	8	12	6	5	11	5	6,5	11,5
Гибрид-16182/ Hybrid 16182	4	11	15	6	3	9	5	7	12

Наибольшее количество клубней во все годы исследований сформировалось у гибрида 16182, однако в 2022 году 70 процентов клубней относилось к нетоварным, тогда как в 2023 году, наоборот, преобладал процент товарных клубней. Аналогичная динамика прослеживается и по гибриду 338-45-82-12.

Наименьшее количество нетоварных клубней в среднем за 2022-2023 годы отмечено у сорта Северное сияние – 3,5 шт., причем наибольшее количество товарных клубней было также у этого сорта.

Более благоприятные погодные условия, которые сложились в 2023 году, о чем свидетельствует значение индекса условий среды ($I_j = 2,59$), позволили сортам в большей мере реализовать свой генетический потенциал в сравнении с 2022 годом ($I_j = -2,59$).

Таблица 5 – Масса клубней картофеля с одного растения, г
Table 5 – Mass of potato tubers per plant, g

Сорта и гибриды/ Varieties and hybrids	2022 год/year			2023 год/year			Среднее/ Average		
	Товарных/ commodity	Не товарных/ not commercial	Общее/ General	Товарных/ commodity	Не товарных/ not commercial	Общее/ General	Товарных/ Commodity	Не товарных/ Not commercial	Общее/ General
Невский (st)/ Nevsky (st)	300	90	390	631	184	815	345,0	137,0	482,0
Северное сияние/ Northern lights	510	70	580	645	180	825	577,5	125,0	702,5
Лекарь/The Healer	430	150	580	442	173	615	436,0	161,5	597,5
Элексир/ Elixir	480	120	600	450	180	630	465,0	150,0	615,0
Гурман/ Gourmet	460	180	640	618	165	783	539,0	172,5	711,5
Гибрид-338-45-82-12/ Hybrid 338-45-82-12	350	160	510	608	90	698	479,0	125,0	604,0
Гибрид-16182/ Hybrid 16182	320	380	700	750	90	840	535,0	235,0	770,0

В среднем за два года наибольшая масса клубней под кустом формировалась у гибрида 16182 и составила 770 грамм, что на 288 грамм больше контроля. Также хорошая прибавка получена по сорту Гурман – 229,5 г и по сорту Северное сияние – 220,5 г.

Таблица 6 – Оценка товарных клубней изучаемых сортов и гибридов
Table 6 – Evaluation of commercial tubers of the studied varieties and hybrids

Сорта и гибриды/ Varieties and hybrids	Масса товарного клубня/ Mass of commercial tuber, g			Товарность/ Marketability, %		
	2022 год/year	2023 год/year	Среднее/ Average	2022 год/year	2023 год/year	Среднее/ Average
Невский (st)/ Nevsky (st)	100	105	102,5	76,9	77,4	77,2
Северное сияние/ Northern lights	85	108	96,5	86,4	78,2	82,3
Лекарь/The Healer	86	88	87,0	74,1	71,9	73,0
Элексир/ Elixir	80	90	85,0	80,0	71,4	75,7
Гурман/ Gourmet	115	124	119,5	71,9	78,9	75,4
Гибрид-338-45-82-12/ Hybrid 338-45-82-12	87,5	101	94,3	68,6	87,1	77,9
Гибрид-16182/ Hybrid 16182	80	125	102,5	76,9	89,3	83,1

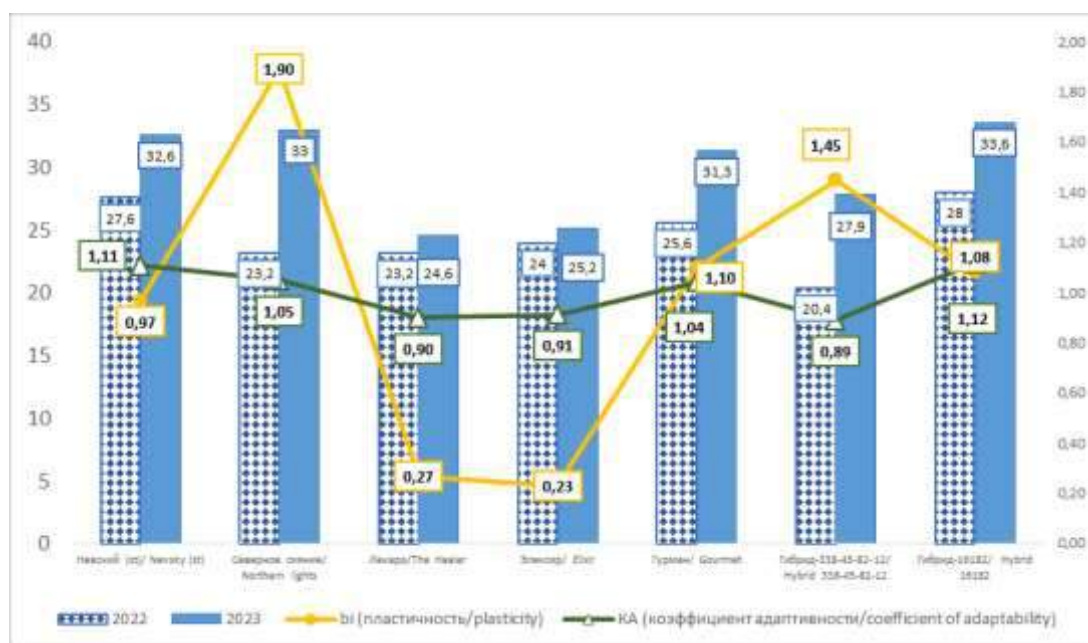
В структуре и выходе товарной продукции наблюдается особенность, связанная с сортовыми характеристиками изучаемых сортов, которые способны закладывать большое количество клубней, но не могут реализовать весь потенциал из-за климатических условий региона, вследствие чего увеличивается количество нетоварных клубней. Однако если рассматривать массу товарного клубня, то у сортов Гурман, Невский и гибрид 16182 вес составляет в среднем за два года 119,5-102,5 г, а товарность соответственно от 77 до 83,1%. У остальных сортов фракционный состав имеет более низкие значения, но в допустимых пределах по сравнению с контрольным вариантом сортом Невский.

Из изучаемых в исследованиях сортов и гибридов картофеля наибольшей продуктивностью характеризуется гибрид-16182, урожайность клубней картофеля данного гибрида в 2023 году составила 33,6 т/га. Также высокие показатели продуктивности отмечены у сорта Северное сияние и Гурман, соответственно 33,0 и 31,3.

Адаптивность – способность сорта противостоять действию факторов среды, снижающих урожайность [8]. Поэтому при агроэкологическом испытании сортов важным показателем является не только урожайность, но и коэффициент пластичности.

Коэффициент экологической пластичности показывает, как сорт отзывается на изменение условий возделывания. О высокой экологической пластичности свидетельствуют показатели коэффициента регрессии больше единицы, у таких генотипов при хорошем уровне агрофона показатели значительно увеличиваются, Сорта с низкой экологической пластичностью характеризуются коэффициентом регрессии меньше единицы, менее отзывчивы на приемы интенсификации, но при ухудшении условий у них меньше снижаются показатели в сравнении высокопластичными сортами [10].

Из сортов и гибридов, находящихся на агроэкологическом испытании, высокопластичными и отзывчивыми на улучшение условий среды были сорт Северное сияние ($b_i=1,90$) и гибрид 338-45-82-12 ($b_i=1,45$). У сортов Невский, Гурман и у гибрида 16182 коэффициент пластичности был близок к единице, что свидетельствует об адекватной реакции сорта (гибрида) на изменения внешней среды и способности формировать урожай.



НСР₀₅ 2022г. – 0,18 НСР₀₅ 2023г. – 0,21

Рисунок 2 – Оценка изучаемых сортов и гибридов по продуктивности и показателям адаптивности
Figure 2 – Evaluation of the studied varieties and hybrids by productivity and indicators of adaptability

У сортов Лекарь и Элексир отмечен низкий показатель пластичности, что говорит о слабой отзывчивости на изменения в условиях возделывания независимо от того благоприятные они или ухудшаются, такие сорта слабо отзываются на интенсификацию. Результаты корреляционного анализа показали умеренную зависимость между пластичностью и урожайностью ($r=0,40$).

Коэффициент адаптивности (K_a) свидетельствует о потенциальной продуктивности изучаемых сортов и гибридов, если в различных условиях среды он больше единицы, то это говорит о его потенциально высокой адаптивности и продуктивности сорта или гибрида. Среди изучаемых сортов только у трех сортов и одного гибрида K_a был выше единицы – сорта Невский, Северное сияние, Гурман и гибрид 16182. Проведенный корреляционный анализ показал сильную зависимость между урожайностью и коэффициентом адаптивности ($r=0,996$).

Выводы. Находившиеся на агроэкологическом испытании сорта картофеля можно охарактеризовать следующим образом:

1. По формированию биомассы максимальные приросты были отмечены у сортов Лекарь, Гурман, Элексир и гибрида-16182, которые превысили контроль на 317, 250, 200, и 300 грамм соответственно.

2. По клубнеобразованию лидируют гибриды как по товарному, так и по нетоварному фракционному составу, у которых на 40% больше закладывается клубней по сравнению с контролем, также следует отметить сорта Элексир, Северное сияние, Лекарь, которые на 15% превосходят контроль по данному показателю, Сорт Гурман имеет показатели на уровне контроля.

3. Наиболее перспективными по продуктивности и параметрам адаптивности являются гибрид 16182 и сорт Гурман. Сорт Северное сияние также обладает высокой потенциальной продуктивностью ($K_a=1,05$), но имеет высокий коэффициент пластичности, то есть является высокоинтенсивным сортом и требует высокого уровня агротехники.

Conclusions. Potato varieties that were on agroecological testing can be characterized as follows:

1. According to the formation of biomass, the maximum gains were noted in the varieties Healer, Gourmet, Elixir and hybrid-16182, which exceeded the control by 317, 250, 200, and 300 grams, respectively.

2. In terms of tuber formation, hybrids are leading both in terms of commodity and non-commodity fractional composition, which have 40% more tubers laid in comparison with the control, it should also be noted that the varieties Elixir, Northern Lights, Healer are 15% superior to the control in this indicator, the Gourmet variety has indicators at the control level.

3. The most promising in terms of productivity and adaptability parameters are the hybrid 16182 and the Gourmet variety. The Northern Lights variety also has a high potential productivity ($K_a = 1.05$), but has a high coefficient of plasticity, that is, it is a highly intensive variety and requires a high level of agricultural technology.

Библиографический список

1. Амелюшкина Т. А. Сортное обеспечение картофелеводства Калужской области. Аграрная Россия. 2018. № 10. С. 23-27.
2. Анишко М. Ю., Зимина Ж. А., Андросов П. А. Влияние foliarных подкормок на урожайность картофеля. Аграрная Россия. 2022. № 5. С. 29-31.
3. Дедов И. И., Шестакова М. В., Викулова О. К. и др. Атлас регистра сахарного диабета Российской Федерации. Статус 2018 г. Сахарный диабет. 2019. Т. 22. № 2S. С. 4-61.
4. Дедов И. И., Шестакова М. В., Викулова О. К., Железнякова А. В., Исаков М. А., Сазонова Д. В., Мокрышева Н. Г. Сахарный диабет в Российской Федерации: динамика эпидемиологических показателей по данным Федерального регистра сахарного диабета за период 2010 – 2022 гг. Сахарный диабет. 2023. № 26 (2). С. 104-123.
5. Жукова Ю. С. Проблемы и перспективы развития производства и продажи диабетической продукции в России. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6 (48).

6. Захаренко А. М., Голохваст К. С., Голуб О. В., Мотовилов О. К. Исследование возможности получения антоцианового красителя из картофеля. *Индустрия питания*. 2021. № 4. С. 76-86.
7. Зеленев А. В., Уришев Р. Х. Урожайность сортов картофеля в зависимости от применения различных удобрений при капельном орошении Нижнего Поволжья. *Основы и перспективы органических биотехнологий*. 2018. № 1. С. 26-30.
8. 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.
9. Шелабина Т. А., Родионенков А. И., Кузнецов А. А., Завьялова С. А. Оригинальное семеноводство картофеля сорта Чароит. *Аграрная Россия*. 2019. № 5. С. 12-15.
10. Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А., Куликова Н. А. и др. Оценка экологической стабильности, пластичности и стрессоустойчивости сортов картофеля в орошаемых условиях Нижнего Поволжья. *Аграрная Россия*. 2022. № 6. С. 26-33.
11. Перченко Н. А., Сергеева О. Н. Эффективность препарата Турмакс при возделывании картофеля в условиях Томской области. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 5. С. 34-37.
12. Поливанова О. Б., Гинс Е. М. Антиоксидантная активность пигментированного картофеля (*Solanum tuberosum* L.), содержание антоцианов, их биосинтез и физиологическая роль. *Овощи России*. 2019. № 6. С. 84-90.
13. Галеев Р. Р., Сергеева О. Н., Перченко Н. А., Чиркова В. О. Результаты испытаний сортов картофеля для возделывания в условиях Томской области. *Аграрная Россия*. 2020. № 1. С. 31-34.
14. Стрыгина К. В., Хлесткина Е. К. Синтез антоцианов у картофеля (*Solanum tuberosum* L.): генетические маркеры для направленного отбора. *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 1. С. 37-49.
15. Федеральная служба государственной статистики. *Здравоохранение в России 2021 г.* <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218>.
16. Gould K. S. Nature's Swiss army knife: the diverse protective roles of anthocyanins in leaves. *BioMed Research International*. 2004. No 5. Pp. 314-320.
17. Cisowska A., Wojnicz D., Hendrich A. B. Anthocyanins as antimicrobial agents of natural plant origin. *Nat. Prod. Commun.* 2011. No 6 (1). Pp. 149-156.
18. Khlestkina E. The adaptive role of flavonoids: emphasis on cereals. *Cereal Res. Commun.* 2013. No 41 (2). Pp. 185-198.
19. Koldaev V. M., Manyakhin A. Yu Effect of heat treatment and storage on anthocyanins levels in food plants. *Vegetable Crops of Russia*. 2022. No 3. Pp. 33-38.
20. Wen H., Kang J., Li D., Wen W., Yang F., Hu H., Liu C. Antifungal activities of 47 anthocyanins from purple sweet potato in the presence of food preservatives. *Food Sci. Biotechnol.* 2016. No 25 (1). Pp. 165-171.

References

1. Amelyushkina T. A. Varietal support of potato growing in the Kaluga region. *Agrarian Russia*. 2018. No 10. Pp. 23-27.
2. Anishko M. Yu., Zimina Zh. A., Androsov P. A. Influence of foliar top dressing on potato yield. *Agrarian Russia*. 2022. No 5. Pp. 29-31.
3. Dedov I. I., Shestakova M. V., Vikulova O. K., etc. Atlas of the Register of diabetes Mellitus of the Russian Federation. Status 2018. *Diabetes mellitus*. 2019. V. 22. No 2S. Pp. 4-61.
4. Dedov I. I., Shestakova M. V., Vikulova O. K., Zheleznyakova A. V., Isakov M. A., Sazonova D. V., Mokrysheva N. G. Diabetes mellitus in the Russian Federation: dynamics of epidemiological indicators according to the Federal Register of Diabetes Mellitus for the period 2010-2022. *Diabetes mellitus*. 2023. No 26 (2). Pp. 104-123.
5. Zhukova Yu. S. Problems and prospects of development of production and sale of diabetic products in Russia. *International Research Journal*. 2016. № 6 (48).

6. Zakharenko A. M., Golokhvast K. S., Golub O. V., Motovilov O. K. Investigation of the possibility of obtaining anthocyanin dye from potatoes. The food Industry/Food Industry. 2021. No 4. Pp.76-86.
7. Zelenev A. V., Urishev R. H. The yield of potato varieties depending on the use of various fertilizers in drip irrigation of the Lower Volga region. Fundamentals and prospects of organic biotechnologies. 2018. No 1. Pp. 26-30.
8. 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 the conditions of the irrigated zone of Dagestan. Agrarian Russia. 2023. No 6. Pp. 16-21.
9. Shelabina T. A., Rodionenkov A. I., Kuznetsov A. A., Zavyalova S. A. Original seed production of potatoes of the Charoit variety. Agrarian Russia. 2019. No 5. Pp. 12-15.
10. Gichenkova O. G., Laptina Yu. A., Kulikova N. A., et al. Assessment of ecological stability, plasticity and stress resistance of potato varieties in irrigated conditions of the Lower Volga region. Agrarian Russia. 2022. No 6. Pp. 26-33.
11. Perchenko N. A., Sergeeva O. N. The effectiveness of the drug Turmax in potato cultivation in the Tomsk region. Russian agricultural science. 2020. No 5. Pp. 34-37.
12. Polivanova O. B., Gins E. M. Antioxidant activity of pigmented potatoes (*Solanum tuberosum* L.), anthocyanin content, their biosynthesis and physiological role. Vegetables of Russia. 2019. No 6. Pp. 84-90.
13. Galeev R. R., Sergeeva O. N., Perchenko N. A., Chirkova V. O. Test results of potato varieties for cultivation in the conditions of the Tomsk region. Agrarian Russia. 2020. No 1. Pp. 31-34.
14. Strygina K. V., Khlestkina E. K. Synthesis of anthocyanins in potatoes (*Solanum tuberosum* L.): genetic markers for directional selection. Agricultural biology. 2017. V. 52. No 1. Pp. 37-49.
15. Federal State Statistics Service. Healthcare in Russia 2021. <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218>.
16. Gould K. S. Nature's Swiss army knife: the diverse protective roles of anthocyanins in leaves. BioMed Research International. 2004. No 5. Pp. 314-320.
17. Cisowska A., Wojnicz D., Hendrich A. B. Anthocyanins as antimicrobial agents of natural plant origin. Nat. Prod. Commun. 2011. No 6 (1). Pp. 149-156.
18. Khlestkina E. The adaptive role of flavonoids: emphasis on cereals. Cereal Res. Commun. 2013. No 41 (2). Pp. 185-198.
19. Koldaev V. M., Manyakhin A. Yu Effect of heat treatment and storage on anthocyanins levels in food plants. Vegetable Crops of Russia. 2022. No 3. Pp. 33-38.
20. Wen H., Kang J., Li D., Wen W., Yang F., Hu H., Liu C. Antifungal activities of 47 anthocyanins from purple sweet potato in the presence of food preservatives. Food Sci. Biotechnol. 2016. No 25 (1). Pp. 165-171.

Информация об авторах

Гиченкова Ольга Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Садоводство и защита растений», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-кт, д. 26), e-mail: olga.gichenkova@mail.ru

Лаптина Юлия Александровна, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, ФИЦ «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026 Московская обл., пос. Новоивановское, ул. Агрохимиков, д. 6), e-mail: ylaptina82@mail.ru

Маликова Полина Сергеевна, аспирант, факультета Агробиотехнологий, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-кт, д. 26), e-mail: polina_aleksashenkova@mail.ru

Лаптина Ульяна Алексеевна, студент факультета Агробиотехнологий, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-кт, д. 26), e-mail: ylanalaptina@gmail.com

Author's Information

Gichenkova Olga Gennadiyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Horticulture and Plant Protection, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy prospekt, 26), e-mail: olga.gichenkova@mail.ru

Laptina Yulia Aleksandrovna, Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 143026 Moscow Region, village Novoivanovskoye, st. Agrochemists, 6), e-mail: ylaptina82@mail.ru

Malikova Polina Sergeevna, postgraduate student of the Agrotechnological Faculty of the Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy prospekt, 26), e-mail: polina_aleksashenkova@mail.ru

Laptina Ulyana Alekseevna, student of the Agrotechnological Faculty of the Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy prospekt, 26), e-mail: ylanalaptina@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-12

EVALUATION OF SPRING BARLEY VARIETIES OF ORENBURG SELECTION BY A NUMBER OF ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS

O. S. Grechishkina, A. A. Novikova

*Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the
Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: fncbc2022@mail.ru

Received 26.09.2023

Submitted 14.11.2023

The research work was carried out according to the topic of the state assignment FNWZ – 2022 – 0015 "To create new highly productive varieties of grain spikelets and cereals, potatoes with a complex of economically valuable traits, increased resistance to biotic and abiotic stress factors, on the basis of comprehensive research of bioresources, to improve the genetic fund, to improve the seed system, to develop new techniques of technologies for cultivating these crops; to develop effective methods for assessing the genetic potential using DNA technologies for the selective improvement of grain crops and the creation of varieties with specified economically valuable properties"

Summary

The data obtained as a result of the study of the collection of spring barley of the fodder direction of the Orenburg selection for a number of economically valuable parameters in the zone of the southern steppes of the Orenburg Urals are presented. Cultivars with a set of economically valuable qualities that can be used as parent forms for breeding spring barley for feed have been identified.

Abstract

Introduction. In the dry conditions of the Orenburg Urals, the success of creating highly productive cultivars largely depends on the parent forms that are most suitable for the soil and climatic requirements of the region. To assess the baselines for a number of economically valuable characteristics, studies were conducted on 14 varieties of spring barley of Orenburg selection. The purpose of this work was to identify valuable sources of productivity and the main indicators of the structure of the spring barley crop for further use in hybridization. **Object.** All the studied varieties were obtained in the laboratory of spring barley breeding of the Orenburg Research Institute of Agricultural Sciences (since 2017 FRC BST RAS), 12 of which are zoned and included in the State Register of Breeding Achievements in the ninth region, in addition, the Anna variety is recommended for use in the Ural, Middle Volga and East Siberian regions of Russia, cultivars T-12 and Gubernatorial districts are located in all zones of the Republic of Bashkortostan. The Natalie spring barley variety (nutans variety) until 2021 was the main recommended standard variety in the GSU system for the Orenburg region. **Materials and methods.** These and other highly productive varieties were studied for three years (2020-2022). Field and laboratory evaluation of the numbers was carried out according to generally accepted methods. The results of the study of the elements of the crop structure of varieties of Orenburg selection are given, the forms of economically valuable traits are selected for further introduction into hybridization to obtain valuable initial breeding material. The correlation dependence of the productivity of spring barley varieties on morphological and structural parameters was revealed. **Re-**

sults and conclusions. The most productive varieties in the conditions of the Orenburg Urals were: Miar, Lekar 2 and Chebenek. The analysis of the correlation coefficient allowed us to establish that the productive tillering coefficient and the weight of 1000 grains and the feedback with plant height have a positive effect on the yield of the variety in the arid conditions of the Orenburg region. From the samples we studied, varieties were selected for breeding for productive bushiness: Armilid, Miar and Chebenek; weight of 1000 grains: Healer and Healer 2; plant height – Lida. It is recommended to involve these varieties in crossbreeding for conducting adaptive breeding of spring barley of the fodder direction in the Ural region.

Key words: *spring barley, Hordeum vulgare, weight 1000 grains, varieties of spring barley, selection of spring barley.*

Citation. Grechishkina O. S., Novikova A. A. Evaluation of spring barley varieties of Orenburg selection by a number of economically valuable characteristics. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 124-133. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-12.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of the experiment, got acquainted with the final version of the article and approved it.

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

УДК 631.522/.524:631.421.1:633.162

ОЦЕНКА СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ОРЕНБУРГСКОЙ СЕЛЕКЦИИ ПО РЯДУ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

О. С. Гречишкина, кандидат сельскохозяйственных наук

А. А. Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН»
г. Оренбург, Российская Федерация

*Исследовательская работа выполнена согласно теме государственного задания
№ FNWZ – 2022 – 0015 «Создать новые высокопродуктивные сорта зерновых колосковых и
крупяных культур, картофеля с комплексом хозяйственно-ценных признаков, повышенной
устойчивостью к биотическим и абиотическим стресс факторам, на базе комплексных
исследований биоресурсов, улучшить генетический фонд, усовершенствовать систему
семеноводства, разработать новые приемы технологий возделывания этих культур;
разработать эффективные методы оценки генетического потенциала с использованием
ДНК-технологий для селекционного улучшения зерновых культур и создания сортов с
заданными хозяйственно-ценными свойствами»*

Аннотация. В сухих условиях Оренбургского Предуралья успех создания высокопродуктивных сортообразцов во многом зависит от максимально пригодных к почвенно-климатическим требованиям региона родительских форм. Для оценки исходных линий по ряду хозяйственно-ценных признаков проводились исследования 14 сортов ярового ячменя Оренбургской селекции. Целью данной работы было выявление ценных источников по продуктивности и основным показателям структуры урожая ярового ячменя для дальнейшего использования их в гибридизации. **Объект.** Все изучаемые сорта получены в лаборатории селекции ярового ячменя Оренбургского НИИСХ (с 2017 г. ФНЦ БСТ РАН), 12 из которых районированы и включены в Государственный реестр селекционных достижений по девятому региону, кроме того, сорт Анна рекомендован к использованию в Уральском, Средневолжском и Восточно-Сибирском регионах России, сортообразцы Т-12 и Губернаторский районированы по всем зонам Р. Башкортостан. Сорт ярового ячменя Натали (разновидность nutans) до 2021 г. являлся основным рекомендованным стандартным сортообразцом в системе ГСУ по Оренбургской области. **Материалы и методы.** Эти и другие высокопродуктивные сорта изучались в течение трех лет (2020-2022 гг.). Полевая и лабораторная оценка номеров проводилась по общепринятым методикам. Даны результаты исследования элементов структуры урожая сортов Оренбургской селекции, отобраны формы хозяйственно-ценных признаков для внедрения в дальнейшем

в гибридизацию для получения ценного исходного селекционного материала. Выявлена корреляционная зависимость продуктивности сортообразцов ярового ячменя от морфологических и структурных параметров. **Результаты и выводы.** Наибольшую продуктивность в условиях Оренбургского Приуралья имели сорта: Миар, Лекарь 2 и Чебенек. Анализ коэффициента корреляции позволил установить, что положительное влияние на урожайность сорта в засушливых условиях Оренбуржья оказывают коэффициент продуктивного кущения и вес 1000 зерен и обратная связь с высотой растений. Из изучаемых нами образцов выделены сорта для селекции на продуктивную кустистость: Армилид, Миар и Чебенек; масса 1000 зерен: Лекарь и Лекарь 2; высоту растений – Лида. Данные сорта рекомендуется вовлекать в скрещивание для ведения адаптивной селекции ярового ячменя кормового направления по Уральскому региону.

Ключевые слова: яровой ячмень, *Hordeum vulgare*, масса 1000 зерен, сорта ярового ячменя, селекция ярового ячменя.

Цитирование. Гречишкина О. С., Новикова А. А. Оценка сортов ярового ячменя оренбургской селекции по ряду хозяйственно-ценных признаков. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 124-133. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-12.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Зерновая культура ячмень – одна из ведущих зерновых культур в мире. По объемам производства ячмень занимает второе место после пшеницы. РФ занимает второе место по производству ячменя в мире. Более 35% посевов ячменя в России находятся в Приволжском федеральном округе, в частности в Оренбуржье, Республике Татарстан, Республике Башкортостан и др. регионах [1]. В последние годы наблюдается возрастание потребности в кормовом ячмене со стороны отрасли животноводства, рост мирового спроса оказывает положительное влияние на развитие рынка фуражного ячменя [2]. Ячмень относится к основным кормовым культурам в Оренбургской области. Особую значимость для стабильного производства зерна ярового ячменя имеет внедрение в производство новых максимально адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона сортообразцов [3]. Высокий потенциал ярового ячменя при возделывании в Оренбургском регионе остается недостаточно раскрытым. В отдельные годы при благоприятных условиях сорта ячменя оренбургской селекции в нашей области формируют урожай до 5,5 т/га. Одними из факторов, ограничивающих получение высоких устойчивых урожаев данной культуры, являются недостаток влаги в почве, несовершенство применяемых агротехнологий, малое внедрение в производство новых засухоустойчивых, экологически пластичных сортов с высокой урожайностью [2]. Внедрение и использование в сельскохозяйственном производстве новых сортообразцов, приспособленных к местным условиям, способных максимально реализовать потенциал продуктивности в различных условиях выращивания, имеет немаловажное значение для повышения валового сбора зерна ячменя по годам и для обеспечения высокой эффективности возделывания [4].

В последние годы в селекции ярового ячменя важным направлением является создание засухоустойчивых, скороспелых, продуктивных сортообразцов с хорошим технологическим и биохимическим качеством зерна [5, 6]. Успешная реализация селекционных программ по созданию инновационных сортов тесно связана с использованием нового исходного материала [7, 8, 9, 10].

Создание универсального сорта для всей территории Оренбуржья чрезвычайно сложно, т.к. область по природно-климатическим факторам превосходит все сухостепные регионы России [11]. Широкая пестрота в температурном диапазоне, почвенном

плодородии – от светло каштановых супесей на крайнем юго-востоке до типичных чернозёмов на северо-западе, связана с расположением ее в двух частях света, приближенностью полупустынь Казахстана на юге, Уральских гор в центре, сухостепей на востоке. За год в среднем количество атмосферных осадков на севере составляет до 450 мм на юге до 270 мм. Генетически не приспособленные к широкому разнообразию почвенно-климатических условий сортообразцы, то не обладающие соответствующей нормой реакции, не могут противостоять воздействию различных стрессов [12].

Эффективный способ получения сортообразцов ярового ячменя – гибридизация с дальнейшим отбором рекомбинантных генотипов с выраженной совокупностью селекционных ценных признаков [13]. Необходимо принимать во внимание, что в последние годы идет изменение климата, которое ведет к необходимости поиска новых селекционных линий ячменя с подходящими к изменяющимся условиям признаками по количеству семян в колосе; весу 1000 зерен; продуктивности колоса и растения; числу растений на единице площади; устойчивости к полеганию и болезням [14, 15].

В разные годы элементы продуктивности проявляются в различных сочетаниях и почти все они влияют на производственный процесс. Однако, как считает Тишков Н.И., в основе этого процесса у ярового ячменя всегда лежит плотность продуктивного стеблестоя, которая в зависимости от условий окружающей среды определяет развитие всех элементов структуры урожая в более или менее оптимальном соотношении и тот сортообразец, у которого это соотношение складывается оптимально в большинстве случаев, всегда выигрывает [16].

Материалы и методы. Объектом исследований выступают 14 сортов ярового ячменя Оренбургской селекции (Оренбургский 11, Оренбургский 15, Оренбургский 17, Первоцелинник, Анна, Натали (стандарт), Лида, Армилид, Миар, Губернаторский, Т 12, Лекарь, Чебенек, Лекарь 2).

Полевые работы проводили в 2020-2022 гг. в Оренбургском районе (пос. Чебенки). Почва опытного участка состоит из чернозёма обыкновенного, среднемощным, средне- и мало гумусным (4,69-7,60 %, ГОСТ 26213-91). Обеспеченность азотом низкая (34,8 мг/кг почвы, ГОСТ Р 58596-2019), калием – повышенная (120 мг/кг почвы, ГОСТ 26205), фосфором – средняя (97,2 мг/кг почвы, ГОСТ 26205). Учётная площадь делянок – 16,4 м², повторность – трёхкратная. Предшественник – чистый пар. Сев ярового ячменя сеялкой ССФК-7 с нормой высева 450 шт. всхожих зерен на 1 м². Отбор снопов с учетных делянок для структурного анализа производился вручную, уборка делянок проходила в сухую погоду во все годы исследований комбайном «Сампо-130» в фазу полной спелости.

В различные периоды вегетации метеоусловия в годы исследований значительно различались по температурному показателю (рисунок 1) и объёму выпавших осадков (рисунок 2).

Сумма активных температур в 2020 году за май-август составила 2430,6°С при климатической норме равной 2395,3°С, сумма осадков 121,6 мм. ГТК = 0,50 ед. Летняя засуха негативно повлияла на рост и развитие ярового ячменя. На рисунке видно, что погодные условия в вегетационный период 2021 года сложились еще более жестко, чем в 2020 году. Основопологающей причиной было то, что в результате засухи 2021 года пашня ушла в зиму пересушенной и, несмотря на достаточное количество зимних осадков, предпосевные запасы влаги в метровом слое почвы в 2021 году оказались невысокими (меньше 140 мм). Жаркая погода, установившаяся с начала мая и до конца лета (+30°С и выше), практическое отсутствие существенных осадков привели к тому, что к началу колошения ярового ячменя метровый слой почвы высох практически полно-

стью, рост и развитие уцелевших растений продолжались за счет скудных запасов влаги оставшихся на глубине до 120 см. Следующий по результатам метеорологических наблюдений 2022 год можно характеризовать как влажный. Сумма активных температур воздуха за май-август составляла 2366,9°C, сумма осадков – 249,1 мм, гидротермический коэффициент – 1,05 ед. Пики высоких температур приходились на вторую декаду июля и август месяца.



Рисунок 1 – Температура воздуха в период вегетации ярового ячменя, °C

Figure 1 – Air temperature during the growing season of barley, °C

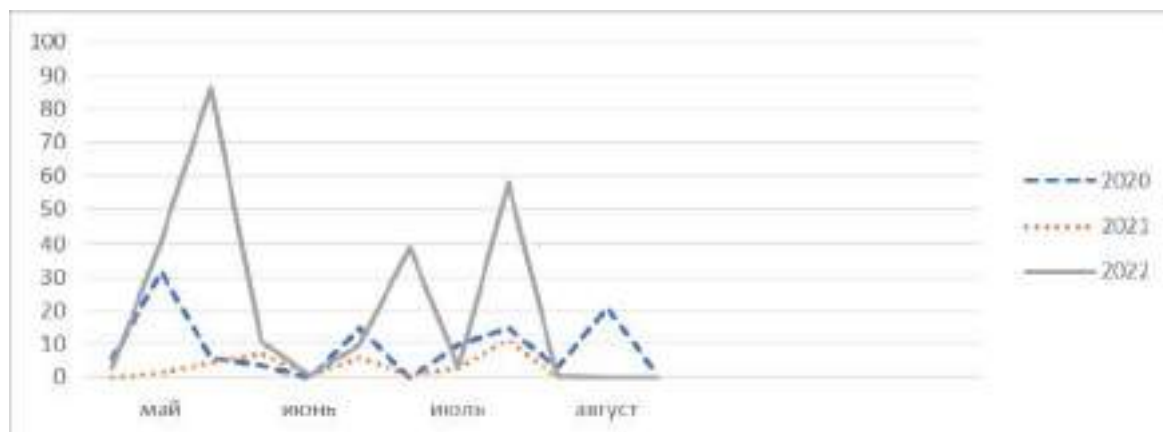


Рисунок 2 – Количество выпавших осадков в период вегетации ярового ячменя, мм

Figure 2 – The amount of precipitation during the growing season of barley, mm

Таким образом, сложившиеся условия 2020-2021 годах в центральной зоне Оренбуржья послужили идеальным фоном для объективной оценки всех сортов ярового ячменя Оренбургской селекции. Оценивали их по методике ВИР. Учитывали длину растений, колоса длину, продуктивную кустистость, количество зерен в колосе, массу 1000 семян. Сопряженность признака с урожайностью (коэффициент корреляции r), стандартную ошибку коэффициента корреляции (S_r), критерий существенности коэффициента корреляции (t_r), дисперсионный анализ – проводили с использованием соответствующих для данных исследований методик ГОС сортоиспытания сельскохозяйственных культур [17] и методикой полевого опыта Б. А. Доспехова (2012, 352 с.). В итоге были выделены наиболее продуктивные сорта по урожайности и источники хозяйственно-ценных признаков для включения их в дальнейшую гибридизацию с целью получения ценного исходного селекционного материала.

Результаты и обсуждение. По метеорологическим условиям годы наблюдения резко различались. Вегетационный период изучаемых сортов в 2020 и 2022 годах варьировал от 73 до 80 суток в зависимости от сорта. Например, сорт Лида, Оренбургский 17 – раннеспелый, созревает на 1-3 дня раньше сорта Натали, а сорт Губернаторский созревает на 3 дня позже районированного сорта Анна и относится к степной агроэкологической группе среднеранних сортообразцов. В очень засушливый 2021 год вегетационный период ярового ячменя сократился и составил от 70 до 75 суток в зависимости от сорта.

После структурного анализа изучалось влияние пяти признаков структурных элементов урожая на продуктивность сорта и их корреляционная связь с урожайностью.

Абсолютным лидером по продуктивности является сорт Миар, имеющий среднюю урожайность 2,26 т/га (таблица 1). При этом по отдельным показателям хозяйственно-ценных признаков этот сорт не отличался высокой выраженностью. На втором месте по урожайности сорта – Лекарь 2 и Чебенек – 2,17 и 2,16 т/га соответственно. Средняя урожайность исследуемых сортов за 2020-2022 гг. варьировала от 1,62 т/га до 2,26 т/га. Сорт ячменя Лекарь 2 показал наибольший вес тысячи зерен – 45,2 гр. Наибольший коэффициент продуктивного кущения наблюдался у сортов Армилид, Миар и Чебенек. Самый высокий показатель по высоте растений у сорта Первоцелинник – 63,7 см, но этот признак не повлиял положительно на сортовую продуктивность, так как его урожайность оказалась наименьшей и составила 1,62 т/га. Наибольшая средняя длина колоса у сорта Губернаторский – 8,1 см, также этот сорт выделился высоким показателем по числу зерен в колосе (на уровне с Оренбургским 11, Первоцелинником и Лекарем 2) – 16 шт.

Таблица 1 – Элементы структуры урожая сортообразцов ярового ячменя оренбургской селекции, 2020-2022 гг.

Table 1 – Elements of the structure of the harvest of Orenburg selection spring barley varieties, 2020-2022

Название сорта	Высота растений, см	Длина колоса, см	Коэффициент продуктивного кущения	Количество зерен в колосе, шт.	Вес 1000 зерен, гр.	Урожайность, т/га
Оренбургский 11	59,0	7,8	1,3	16	37,6	1,69
Оренбургский 15	52,9	7,3	1,6	15	41,2	2,11
Оренбургский 17	56,4	6,7	1,6	15	37,8	2,04
Первоцелинник	63,7	7,6	1,5	16	37,4	1,62
Анна	54,5	7,2	1,5	15	39,9	2,13
Натали (станд.)	55,0	7,0	1,6	14	38,8	2,02
Лида	49,8	6,5	1,6	15	42,4	2,08
Армилид	56,1	7,5	1,7	15	40,3	2,10
Миар	51,6	7,6	1,7	15	42,7	2,26
Губернаторский	58,4	8,1	1,4	16	38,8	2,07
Т 12	55,8	7,3	1,4	15	42,5	2,11
Лекарь	51,0	7,5	1,5	15	44,0	2,07
Чебенек	52,0	6,8	1,7	15	38,5	2,16
Лекарь 2	52,2	7,2	1,6	16	45,2	2,17
НСР ₀₅						0,15

Для определения влияния изучаемых структурных элементов на урожайность сортов ярового ячменя провели корреляционный анализ (таблица 2).

Таблица 2 – Корреляционная зависимость урожайности сортов ярового ячменя от морфологических и структурных параметров
Table 2 – Correlation of productivity of spring barley cultivars with morphological and structural parameters

2020 год				
Коэффициент корреляции (r)				
Высота растений	Длина колоса	Коэффициент продуктивного кущения	Количество зерен в колосе	Вес 1000 зерен
-0,392	0,069	0,486	-0,330	0,344
2021 год				
Коэффициент корреляции (r)				
Высота растений	Длина колоса	Коэффициент продуктивного кущения	Число зерен в колосе	Вес 1000 зерен
-0,460	-0,058	0,587	0,284	0,758
2022 год				
Коэффициент корреляции (r)				
Высота растений	Длина колоса	Коэффициент продуктивного кущения	Число зерен в колосе	Вес 1000 зерен
-0,752	-0,305	0,451	-0,053	0,410

Высокую положительную достоверную корреляционную связь с урожайностью показали – коэффициент продуктивного кущения и масса 1000 зерен в засушливом 2021 году ($r=0,587$ и $0,758$). В 2020 и в 2022 гг. эта связь была также положительной, средней, но несущественной. Высота растений оказала отрицательное влияние на урожайность. Сильная зависимость по этому признаку наблюдалась в 2022 году ($r= -0,752$). Также отрицательное влияние на урожайность оказала длина колоса в 2021 и в 2022 гг. и число зерен в колосе в 2020 и 2022 гг. По этим показателям корреляционная зависимость была слабая и несущественная.

Выводы. В результате исследования установлено, что наибольшую продуктивность имели сорта Миар, Лекарь 2 и Чебенек со средней урожайностью 2,26; 2,17 и 2,16 т/га соответственно. В условиях Оренбургской области наиболее тесная положительная связь урожайности зерна с коэффициентом продуктивного кущения и массой 1000 зерен ($r=0,508\pm0,079$ и $0,504\pm0,254$). Отрицательно на урожайность ярового ячменя влияет высота растений ($r= -0,535\pm0,217$). Другие признаки продуктивности растений (длина колоса, количество зерен в колосе) показали различную сопряженность, но несущественную. Следовательно, интерес для селекционного процесса ярового ячменя представляют низкорослые формы с высоким показателем продуктивного кущения и массой 1000 зерен. Из изучаемых нами сортов Оренбургской селекции по этим показателям выделились сорта: Армилид, Миар и Чебенек (продуктивная кустистость 1,7); Лекарь и Лекарь 2 (масса 1000 зерен, соответственно, 44,0 и 45,2 гр.); Лида (высота растений 49,8 см). Выделенные сорта необходимо вовлекать в процесс гибридизации для создания сортов с рядом хозяйственно-ценных признаков.

Conclusions. As a result of the study, it was found that the most productive varieties were Mi-ar, Lekar 2 and Chebenek with an average yield of 2.26; 2.17 and 2.16 t/ha, respectively. In the conditions of the Orenburg region, the most close positive relationship between grain yield and the productive factor and the mass of 1000 grains ($r=0,508\pm0,079$ and $0,504\pm0,254$). The yield of spring barley is negatively affected by the height of the plants ($r= -0,535\pm0,217$). Other signs of plant productivity (length of the spike, the amount of grains in the spike) showed different conjugacy, but insignificant. Consequently, low-growth forms with a high productivity factor and a mass of 1000 grains are of in-

terest to the spring barley selection process. Of the varieties of the Orenburg selection we studied, the following varieties stood out for these indicators: Armilid, Miar and Chebenek (productive bushiness 1.7); Physician and Physician 2 (weight of 1000 grains, 44.0 and 45.2 grams, respectively); Lida (plant height 49.8 cm). Selected varieties must be involved in the hybridization process to create varieties with a number of economic and valuable features.

Библиографический список

1. Шалаева Л. В. Тенденции производства и потребления ячменя в Российской Федерации. Продовольственная политика и безопасность. 2023. Т. 10. № 4.
2. Донцова А. А., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Терновая Е. А. Производство ячменя в мире и России. Зерновое хозяйство России. 2016. № 48 (6). С. 7-13.
3. Левакова О. В., Гладышева О. В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность нового сорта ярового ячменя Знатный в Нечерноземной зоне РФ. Зерновое хозяйство России. 2021. № 4. С. 86-90.
4. Левакова О. В. Селекционная работа по созданию адаптированных к нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области. Зерновое хозяйство России. 2021. № 1 (1). С. 14-19.
5. Брагин Р. Н., Филиппов Е. Г. Оценка показателей адаптивности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях изменчивости природной среды. Зерновое хозяйство России. 2022. № 3. С. 18-24.
6. Саввина В. В. Изучение исходного материала ярового ячменя коллекции ВИР в Центральной Якутии. Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). С. 22.
7. Левакова О. В. и др. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ. Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 1. С. 128–135.
8. Новохатин В. В. Эффективность различных методов отбора в селекции яровой пшеницы. Достижения науки и техники в АПК. 2016. № 3. С. 42–45.
9. Bome N. A., et al. Ecological and Biological Studies of Col-lection of the Genus Hordeum L. Temperate Crop Science and Breeding. Ecological and Genetic Studies: Apple Academic Press. 2016. Pp. 305–322.
10. Eroshenko L. M., et al. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 843. 012005.
11. Тишков Н. И., Тишков Д. Н. Селекция ярового ячменя в Оренбуржье. Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства в условиях часто повторяющихся засух: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург: ООО "Агентство "Пресса", 2017. С. 57-65.
12. Щенникова И. Н., Кокина Л. П., Зайцева И. Ю. Экологическая стабильность сортов и селекционных линий ячменя. Вестник Марийского государственного университета. 2018. № 3. С. 85-91.
13. Пискарев В. В., Зуев Е. В., Брыкова А. Н. Исходный материал для селекции яровой пшеницы в условиях Новосибирской области. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22. С. 784-794.
14. Левакова О. В. Изучение исходного материала ярового ячменя в целях использования его в селекционном процессе для центрального региона РФ. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2. С. 61-65.
15. Кокина Л. П., Щеклеина Л. М., Кунилова А. В. Источники селекционно-ценных признаков и их использование в создании адаптивных к условиям Волго-Вятского региона сортов ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3. С. 9-14. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14>.
16. Зоров А. А., Тишков Н. И., Тишков Д. Н., Тимошенкова Т. А. Селекция ярового ячменя в Оренбуржье. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 65-73.
17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. В. И. Головачева, Е. В. Кириловской. М., 2019. 194 с.

References

1. Shalaeva L. V. Trends in the production and consumption of barley in the Russian Federation. Food policy and security. 2023. V. 10. № 4.
2. Dontsova A. A., Filippov E. G., Dontsov D. P., Ternovaya E. A. Barley production in the world and Russia. Grain industry of Russia. 2016. № 48 (6). Pp. 7-13.
3. Levakova O. V., Gladysheva O. V. The influence of mineral fertilizers on the productivity of a new variety of spring barley Noble in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Grain industry of Russia. 2021. № 4. Pp. 86-90.
4. Levakova O. V. Selection work on the creation of varieties of spring barley adapted to the non-soil zone of the Russian Federation and prospects for the development of this culture in the Ryzan region. Grain industry of Russia. 2021. № 1 (1). Pp. 14-19.
5. Bragin R. N., Filippov E. G. Assessment of adaptability indicators of spring barley varieties by yield under conditions of variability of the natural environment. Grain industry of Russia. 2022. № 3. Pp. 18-24.
6. Savvina V. V. Study of the source material of spring barley of the VIR collection in Central Yakutia. International Research Journal. 2022. № 12 (126). Pp. 22.
7. Levakova O. V., et al. Impact of Agrometeorological Climate Changes on Grain Productivity of Spring Barley in the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation. South of Russia: ecology, development. 2022. V. 17. No 1. Pp. 128-135.
8. Novokhatin V. V. Efficiency of various selection methods in spring wheat selection. Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2016. № 3. Pp. 42-45.
9. Bome N. A., et al. Ecological and Biological Studies of Collection of the Genus *Hordeum* L. Temperate Crop Science and Breeding. Ecological and Genetic Studies: Apple Academic Press. 2016. Pp. 305-322.
10. Eroshenko L. M., et al. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 843. 012005.
11. Tishkov N. I., Tishkov D. N. Selection of spring barley in the Orenburg region. Scientific support for the innovative development of agriculture in the context of frequent droughts: materials of an international scientific and practical conference. Orenburg: Press Agency LLC, 2017. Pp. 57-65.
12. Shchennikova I. N., Kokina L. P., Zaitseva I. Yu. Ecological stability of varieties and breeding lines of barley. Bulletin of Mari State University. 2018. № 3. Pp. 85-91.
13. Piskarev V. V., Zuev E. V., Brykova A. N. Source material for the selection of spring wheat in the conditions of the Novosibirsk region. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. № 22. Pp. 784-794.
14. Levakova O. V. Study of the source material of spring barley in order to use it in the selection process for the central region of the Russian Federation. Leguminous and cereal crops. 2018. № 2. Pp. 61-65.
15. Kokina L. P., Shchekleina L. M., Kunilova A. V. Sources of selection and valuable features and their use in creating barley varieties adaptive to the conditions of the Volga-Vyatka region. Euro-Northeast agrarian science. 2017. № 3. Pp. 9-14. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14>.
16. Zorov A. A., Tishkov N. I., Tishkov D. N., Timoshenkova T. A. Selection of spring barley in the Orenburg region. News of Orenburg State Agrarian University. 2021. № 6 (92). Pp. 65-73.
17. Methodology for State Variety Testing of Crops / edited by V. I. Golovachev, E. V. Kirilovskaya. M., 2019. 194 p.

Информация об авторах

Гречишкина Ольга Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции ярового ячменя ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), e-mail: fncbc2022@mail.ru

Новикова Антонина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекционно-генетических исследований в растениеводстве ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Российская Федерация, 460000, Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29), e-mail: tonynovikova@yandex.ru

Author's Information

Grechishkina Olga Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for Breeding Spring Barley, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg Region, Orenburg, st. 9 January, 29), e-mail: fncbc2022@mail.ru

Novikova Antonina Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Selection and Genetic Research in Crop Production, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg Region, Orenburg, st. 9 January, 29), e-mail: tony-novikova@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-13

CONVEYOR ARRIVAL OF THE SWEET PEPPER HARVEST

A. V. Gulin, V. A. Machulkina, M. V. Mukanov

*All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing –
Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"*

Kamyzyak, Astrakhan region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vniioob@mail.ru

Received 10.07.2023

Submitted 20.11.2023

*The research was carried out within the framework of the state task on the topic
No. 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. An important task is to increase the resistance of the human body to adverse environmental factors, which can be solved with the introduction of high-vitamin products into the diet, including sweet pepper, whose fruits are rich in biologically active substances, have high taste, therapeutic and curative properties. **The purpose** of the work is to study the influence of varieties created by VNIIOOB breeders with different maturation periods, the development of technology for their cultivation, contributing to the conveyor arrival of the crop. **Novelty** – for the first time, new varieties of sweet pepper with different maturation periods in seedling and seedless culture were studied, affecting the harvesting time. Relevance: this work will allow us to develop a conveyor intake of the crop, which will provide the market for consumption of fresh products for a long time. **Object** of research is varieties of sweet pepper – Zarnitsa, Dar of the Caspian Sea, Atomor. **Materials and methods.** The research was conducted in the period from 2020 to 2022 at the All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable Growing and Melon Growing, a branch of the PAFSC RAS, according to generally accepted methods for technologies adopted in the region. **Research and results.** The studied varieties of sweet pepper Zarnitsa, Dar of the Caspian Sea and Atomor differed in the growing season: the earliest was the Zarnitsa variety. With the seedling method of cultivation, the ripening period is 123 days, with the seedless method – 116 days. The Atomor variety has a longer maturation period – from 145 to 137 days. The Dar Caspian variety occupied an intermediate position. Yield and quality depend on the duration of the growing season, cultivation technology, varieties. The highest yield was noted at the first harvest: depending on the variety, it varied from 43.3 to 53.6 t/ha. The output of finished products with the seedless method of cultivation came a few days later than in the seedling culture. **Conclusions.** To create a long conveyor receipt of the harvest of fresh products, it is necessary to use varieties of different maturation periods in a combination of seedling and seedless growing methods.

Key words: sweet pepper, sweet pepper varieties, seedless crops, seedless method of cultivating pepper, yield of sweet pepper, conveyor harvest.

Citation. Gulin A. V., Machulkina V. A., Mukanov M. V. Conveyor arrival of the sweet pepper harvest. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 133-142.(in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-13.

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

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

УДК 631.543.3:635.649

КОНВЕЙЕРНОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ УРОЖАЯ ПЕРЦА СЛАДКОГО

А. В. Гулин, кандидат сельскохозяйственных наук

В. А. Мачулкина, доктор сельскохозяйственных наук

М. В. Муканов, младший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»

г. Камызяк, Астраханская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения госзадания по теме № 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. Важной задачей является повышение устойчивости человеческого организма к неблагоприятным факторам внешней среды, решить которую возможно с введением в рацион питания высоковитаминных продуктов, в том числе перца сладкого, плоды которого богаты биологически активными веществами, обладают высокими вкусовыми, лечебными и целебными свойствами. **Цель** работы – изучение влияния созданных селекционерами ВНИИООБ сортов с различным сроком созревания, разработка технологии их выращивания, способствующих конвейерному поступлению урожая. **Новизна** – впервые изучались новые сорта перца сладкого с различным сроком созревания в рассадной и безрассадной культуре, влияющие на сроки уборки. **Актуальность:** данная работа позволит разработать конвейерное поступление урожая, что продолжительное время обеспечит рынок потребления свежей продукцией. **Объект** исследования – сорта перца сладкого – Зарница, Дар Каспия, Атомор. **Методика.** Исследования проводились в период с 2020 по 2022 гг. во Всероссийском НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиале ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» согласно общепринятым методикам по технологиям, принятым в регионе. **Результаты исследований.** Изучаемые сорта перца сладкого Зарница, Дар Каспия и Атомор отличались сроком вегетации: наиболее ранним был сорт Зарница. При рассадном способе выращивания срок созревания составляет 123 дня, при безрассадном – 116 дней. Более продолжительный период созревания у сорта Атомор – от 145 до 137 дней. Сорт Дар Каспия занимал промежуточное положение. Урожай и качество зависят от продолжительности периода вегетации, технологии возделывания, сорта. Наибольшая урожайность отмечена при первом сборе: в зависимости от сорта она варьировала от 43,3 до 53,6 т/га. Выход готовой продукции при безрассадном способе выращивания наступал на несколько дней позже, чем в рассадной культуре. **Вывод.** Для создания длительного конвейерного поступления урожая свежей продукции необходимо использовать сорта разного срока созревания в сочетании рассадного и безрассадного способов выращивания.

Ключевые слова: *перец сладкий, сорта перца сладкого, безрассадные культуры, рассадный способ возделывания перца, урожайность перца сладкого, конвейерное поступление урожая.*

Цитирование. Гулин А. В., Мачулкина В. А., Муканов М. В. Конвейерное поступление урожая перца сладкого. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 133-142. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-13.

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. Разнообразие форм сельскохозяйственного производства, складывающееся в нашей стране, требует существенных различий в подходе к выращиванию овощных культур, в частности перца сладкого [1, 5, 6]. Он относится к пасленовым культурам, занимающим значительное место в структуре площадей под овощными растениями. Перец сладкий является ценной продовольственной культурой благодаря плодам, богатым биологически активными веществами, отличающимися высокими вкусовыми качествами и обладающими лечебными и целебными свойствами [2, 3]. Основное достоинство перца в том, что он является поставщиком большой группы витаминов. По содержанию витамина С (аскорбиновой кислоты) перец превосходит все овощные культуры [4, 8, 10]. В работах многих ученых отмечено, что в зависимости от условий выращивания и степени спелости плода витамина С в нем накапливается в среднем от 100 до 300 мг на 100 г сырого вещества. Плоды перца богаты витамином Р (до 140 – 170 мг/100 г), который усиливает биологический эффект витамина С (задерживает окисление витамина С, способствуя его полному усвоению). Кроме того, плоды перца содержат каротин (до 1,7 – 2,0 мг/100 г), а также ряд других витаминов [3, 10]. Перец сладкий используется как в технической, так и биологической степени зрелости, его плоды употребляют как в свежем, так и переработанном виде: солят, маринуют, сушат, запекают, включают в различные виды консервов. Спрос на перец и продукты его переработки ежегодно возрастает, но удовлетворяется далеко не полностью. В условиях ухудшения экологической обстановки одной из важных проблем является повышение устойчивости человеческого организма к неблагоприятным факторам среды, решение которой возможно с потреблением высоковитаминных продуктов, в том числе перца сладкого, что повысит сопротивляемость организма.

Перец сладкий – теплолюбивая культура. В России перец в открытом грунте, в основном, выращивается в Краснодарском крае, Нижнем Поволжье, в Ростовской области, на Северном Кавказе. Условия Астраханской области характеризуются уникальным агроклиматическим и почвенным потенциалом, обусловленным наличием высокой суммы активных температур во время роста и развития растений [11].

Проблема повышения экономической эффективности производства перца сладкого, как полагают многие авторы, будет всегда стоять перед человечеством, а увеличение конкурентоспособности отечественной агропродовольственной продукции имеет значение для расширения рынков сбыта [12, 14, 15]. В Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы, утвержденной постановлением правительства Российской Федерации за № 996, основной задачей является наращивание объемов производимой продукции, повышение её конкурентоспособности, создание и внедрение современных технологий выращивания. По мнению многих авторов, эта программа стимулирует развитие новых агротехнологий и открывает широкие возможности для повышения эффективности АПК на основе цифровизации управления производством и внедрения новых ресурсоэффективных производственных процессов [13].

При выращивании перца сложилась приблизительно одинаковая система возделывания перца в открытом грунте, как в рассадной, так и безрассадной культуре. Эти две системы, по мнению многих авторов, как бы дополняют друг друга и дают возможность конвейерного поступления урожая [9]. При рассадном способе выращивания рас-

тения раньше вступают в фазу плодоношения, чем при безрассадном. Но преимущество безрассадного способа в том, что он позволяет избежать одной из наиболее трудоемких затрат – выращивания рассады.

Существенную роль в поступлении конвейерного урожая плодов перца сладкого, помимо способа выращивания, играют сорта. Подбор сортов по срокам их вегетации имеет большое значение [2, 7]. Изучив имеющиеся литературные сведения, поставили **задачу**: разработать конвейерное поступление урожая перца сладкого в зависимости от технологии выращивания и сорта.

Новизна работы. Впервые изучалось влияние сочетания сортов и способа выращивания на срок уборки урожая.

Актуальность. Проводимые исследования влияния способа выращивания и срока созревания разных сортов, способствуют разумному созданию конвейерного поступления урожая, создадут возможность многократной уборки урожая, тем самым обеспечив рынок непрерывным потоком свежей продукции продолжительное время.

Материалы и методы. Конвейерное поступление урожая перца сладкого в Нижнем Поволжье, в том числе и Астраханской области, тесно связано с созданием и внедрением новых высокоурожайных интенсивных сортов. Сотрудниками отдела селекции и семеноводства Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» созданы высокопродуктивные сорта, которые были использованы для создания конвейерного поступления урожая при безрассадном и рассадном способе выращивания при капельном орошении. Для исследования были взяты следующие сорта: Зарница, Дар Каспия, Атомор. Сорт перца Зарница – раннеспелый, среднерослый. Период от всходов до технической зрелости 85 – 88 дней, высота куста 40 – 45 см, урожайность 35 – 45 т/га. Сорт Атомор – среднеранний до среднеспелого. Высота куста 50 – 60 см. Характеризуется дружным созреванием плодов с урожайностью 45– 50 т/га. Сорт Дар Каспия – среднеспелый. Высота растения 60 – 80 см. Созревание плодов дружное, с урожайностью 30 – 40 т/га.

Перец сладкий выращивали в открытом грунте на опытном поле института. Почва участка аллювиально-луговая, среднесоленая. Содержание гумуса, в зависимости от горизонта, от 3,8 до 1,7%. Содержание легкогидролизуемого азота, по мере увеличения горизонта, колебалось от 61,4 до 95,1 мг/100 г. Содержание фосфора с увеличением горизонта снижалось 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 увеличилось со 168 мг/100 г до 227 мг/100 г.

Площадь опытной делянки 29,4 м², учетной – 14 м². Повторность опыта – трехкратная. Схема посадки и посева 1,4 х 0,2 м. При проведении исследования проводились фенологические наблюдения, биометрические измерения растений, учет урожая, проводились наблюдения за поражением растений болезнями и вредителями, а также определяли основной биохимический состав плодов, в зависимости от сорта и условий выращивания. Фенологические наблюдения проводили в соответствии с Методикой Госсортиспытания сельскохозяйственных культур (1975 г.) и методикой полевых опытов с овощными культурами (1985 г.). Отмечали даты посева, всходов, высадки растений в открытый грунт. Для безрассадной культуры – посев семян в открытый грунт, даты цветения, бутонизации, начала созревания плодов, дату уборки. За начало наступления фазы принимали 10%, массовое – 75%.

С целью изучения динамики роста проводили биометрические измерения растений через каждые 10 дней. При рассадной культуре – после высадки растений в открытый грунт, при безрассадной – после прореживания.

Поражение растений и плодов болезнями и вредителями оценивали по пяти-балльной 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 с каждой деланки согласно ГОСТ 13908 – 68 «Перец сладкий свежий. Технические условия». Уборку урожая проводили при достижении 75% биологической зрелости плодов и в то же время прекращали полив для лучшей дружности созревания плодов.

Сроки полива определяли исходя из состояния влажности активного слоя почвы. Запасы влаги 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.

Объемную массу определяли по методике режущего кольца (С. В. Астапова, 1958). Для этого использовали специальный бур, позволяющий брать пробу без нарушения структуры почвы.

Удельную массу определяли при помощи пикнометра, расчет проводили по формуле:

$$D = \frac{A}{B+A-C},$$

где D – удельная масса почвы; A – навеска абсолютно сухой почвы; B – масса пикнометра с водой; C – масса пикнометра с почвой и водой.

Скважность почвы находили по формуле:

$$P = \left(\frac{A}{D} \right) \cdot 100,$$

где P – скважность почвы; A – объемная масса почвы; D – удельная масса почвы.

Наименьшую влагоемкость (НВ) определяли методом заливных площадок. Коэффициент завядания находили по методу С.И. Долгова. 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 – объёмный 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.

Полив проводили капельным способом используя капельницу «Viola», с нормой вылива от 1,0 литра за час.

Убранный урожай делили на стандарт, нестандарт и отход. К стандарту относили непораженные плоды. К нестандарту – уродливые. Отход состоял из больных, загнивших, пораженных вредителями.

Математическая обработка проводилась по Доспехову. (Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 335 с.)

Цель исследования – изучить влияние способа выращивания и сорта при конвейерном поступлении урожая.

Схема опыта:

Рассадный способ выращивания. Сорта: Зарница, Дар Каспия, Атомор.

Безрассадный способ выращивания. Сорта: Зарница, Дар Каспия, Атомор.

Результаты. От начала роста и до биологической зрелости плодов, а также созревания семян растения проходят следующие (независимо от сорта) фенологические фазы: прорастание семян (длится от посева до появления семядольных листьев), появление настоящих листьев, бутонизация, цветение, техническая зрелость плодов, биологическая зрелость. Как видно из исследований, наиболее длительный период проходит от посева до цветения и варьирует, в зависимости от сорта и условий выращивания, от 56 до 77 суток. Фаза плодоношения наступает через 7 – 14 суток после цветения. В рассадной культуре наиболее продолжительный период развития растений от цветения до уборки плодов колеблется от 53 (Зарница) до 68 суток (Атомор). Дар Каспия занимает промежуточное положение. При выращивании в безрассадной культуре этот период находился в пределах от 60 до 74 суток. Продолжительность всех этапов развития от цветения до уборки сильно меняется и зависит от сорта и способа выращивания, что позволяет создать конвейерное поступление урожая и ритмичную его переработку.

На продолжительность периодов развития растений, как показывают данные таблицы 1, влияют и способы выращивания. Пересадка растений приводит к задержке развития и удлиняет вегетационный период, по сравнению с безрассадным способом, на 7 – 8 дней. При посеве семенами непосредственно в грунт высокая температура воздуха и лучшая освещенность обеспечивают ускоренное развитие растения и ускоряют переход к плодоношению. Сокращение длины вегетационного периода (всходы – биологическая зрелость) при безрассадной культуре происходит благодаря более быстрому развитию растений в период от всходов до цветения (таблица 1).

Таблица 1 – Фенологические наблюдения

Table 1 – Phenological observations

Способ посадки	Сорт	Дата посева	Число дней от всходов до			
			цветения	плодоношения	начала созревания	уборки
Рассадный способ посадки	Зарница	11.04	70	81	106	123
	Дар Каспия	11.04	74	87	112	138
	Атомор	11.04	77	91	117	145
Безрассадный способ выращивания	Зарница	30.05	56	63	89	116
	Дар Каспия	30.05	59	67	94	123
	Атомор	30.05	63	71	97	137

Стебель у перца травянистый, но у основания с возрастом одревесневает. Растения, выращенные посевом семян в грунт, развивались более мощными по сравнению с рассадными и были более компактными. Такое развитие растений при посеве семенами в грунт можно объяснить мощным развитием корневой системы. У рассадных растений

корневая система мочковатая, а у безрассадных – стержневая. При стержневой системе корни глубоко проникают в почву, способствуя более сильному развитию растений. Но, так как кусты компактные, боковых побегов у них меньше, чем у рассадных. Также у безрассадных растений довольно высокая масса облиственности. Мы считаем, что это зависит от размера листа. У безрассадной культуры он более крупный. Если рассматривать в разрезе сортов, то более компактным, независимо от способа выращивания, был сорт Дар Каспия. Высота куста, в зависимости от условий выращивания, варьировала от 52,3 см до 55,8 см. Высота куста у сорта Атомор была выше и составляла от 62,3 до 65,7 см. Сорт Зарница занимал промежуточное положение. Меньшее количество побегов при безрассадном способе выращивания мы объясняем компактностью куста (таблица 2).

Таблица 2 – Биологические показатели развития растений
Table 2 – Biological indicators of plant development

Условия выращивания	Сорт	Высота растений, см	Количество побегов на растении, шт	Облиственность, г/1 куст
Рассадный способ посадки	Зарница	56,4	4,0	232,8
	Дар Каспия	52,3	3,0	221,6
	Атомор	62,8	4,0	256,4
Безрассадный способ выращивания	Зарница	56,6	3,0	244,1
	Дар Каспия	55,8	2,0	236,2
	Атомор	65,7	3,0	264,3

Как известно, на массу плода оказывают влияние условия выращивания, сорт, технология возделывания. По полученным данным, наиболее крупные плоды, независимо от условий выращивания, были у сорта Атомор и Дар Каспия. Масса плода составляла 150,7 – 152,6 г при рассадном способе выращивания и снизилась при безрассадной посадке в 1,3 раза (Дар Каспия) и в 1,1 раза (Атомор). Сорт перца Зарница по размеру плода занимал промежуточное положение (таблица 3).

Таблица 3 – Средняя масса плода
Table 3 – Average fetal weight

Условия выращивания	Сорт	Средняя масса плода, г
Рассадный способ посадки	Зарница	110,5
	Дар Каспия	150,7
	Атомор	152,6
Безрассадный способ выращивания	Зарница	96,8
	Дар Каспия	120,3
	Атомор	135,6

Урожай и его качество зависят от многих причин: продолжительности периода вегетации, технологии возделывания, сорта и других. Правильно подобранный, соответствующий данной зоне сорт – залог успеха получения высокого урожая и возможности создания конвейерного поступления плодов. Созданные новые сорта селекции института различаются по срокам созревания, урожайности. То есть наступление зрелости у них наступает в разные сроки.

Как показывают полученные данные, поступление урожая по срокам сбора зависит от технологии выращивания. Отдача урожая у растений, выращенных безрассадным способом, более дружная. При первом сборе большая часть урожая бывает собрана (от 51,0 до 58,9%). Меньшая часть урожая приходится на зачистной сбор. При вы-

ращивании в рассадной культуре фаза созревания наступает несколько раньше, чем в безрассадной. При первом сборе количество убранных плодов, в зависимости от сорта, варьирует от 18,0 до 23,6% от общего урожая. Основная же часть урожая приходится на массовый сбор. Его количество колеблется от 62,8 до 74,7 т/га. Надо отметить, что, несмотря на дружную отдачу урожая при безрассадном выращивании, основной урожай при этой технологии наступает позже, чем при рассадном выращивании. Отдача урожая зависела от способа выращивания и сорта (таблица 4).

Таблица 4 – Выход урожая по срокам сбора и технологии выращивания
Table 4 – Yield by harvest time and cultivation technology

Способ выращи- вания	Сорт	Сроки сбора			Общий урожай, т/га
		выборочный, т/га	массовый, т/га	зачистной, т/га	
Рассадный способ посадки	Зарница	20,6	74,7	18,7	114,0
	Дар Каспия	23,8	62,8	17,4	104,0
	Атомор	27,9	68,9	21,2	118,0
Безрассадный способ выращивания	Зарница	53,6	20,3	17,1	91,0
	Дар Каспия	43,3	24,7	18,0	86,0
	Атомор	44,2	23,4	21,4	89,0
	НСР ₀₅	1,6	2,3	2,3	

Заключение. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что технология выращивания перца в рассадной и безрассадной культуре с использованием сортов с разным сроком созревания, делает поступление урожая более плановым и снижает напряженность при сборе и реализации, а также обеспечивает рынок продолжительное время свежей продукцией.

Conclusions. Based on the conducted research, it can be concluded that the technology of growing pepper in seedling and seedless culture using varieties with different maturation periods makes the harvest more systematic and reduces the tension during harvesting and sale, and also provides the market with fresh products for a long time.

Библиографический список

1. Гикало Г. С., Риш Р. А. Перец. Краснодар. Изд-во: КГАУ, 1997. 134 с.
2. Кигашпаева О. П., Гулин А. В., Каракаджиев А. С., Джабраилова В. Ю., Лаврова Л. П. Хозяйственные качества и семенная продуктивность перца сладкого селекции ВНИИООБ. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 3 (67). С. 161-170.
3. Гулин А. В., Мачулкина В. А., Кигашпаева О. П., Лаврова Л. П., Джабраилова В. Ю. Перец сладкий – витаминный продукт. Пищевая промышленность. 2022. № 11. С. 25-28.
4. Гулин А. В., Мачулкина В. А., Кигашпаева О. П., Каракаджиев А. С., Володина С. А. Энергосберегающая сушка перца сладкого. Хранение и переработка. 2022. № 2. С. 41-51.
5. Муканов М. В., Гулин А. В., Каракаджиев А. С. Перспективность возделывания перца сладкого безрассадным способом в дельте Волги. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 4 (68). С. 134-143.
6. 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.
7. Гулин А. В., Кигашпаева О. П. Экономически выгодные для уборки и транспортировки сорта перца сладкого. Проблемы развития АПК региона. 2021. № 4. С. 35-39.
8. Мачулкина В. А., Санникова Т. А., Гулин А. В. Лечо перечное – витаминный продукт питания. Пищевая промышленность. 2021. № 1. С. 32-35.
9. Мачулкина В. А., Санникова Т. А., Павлов Л. В. Новый стандарт на типовой технологический процесс производства перца сладкого. Проблемы развития АПК региона. 2016. № 2 (25). Ч. 2. С. 136-137.

10. Мачулкина В. А., Санникова Т. А. Изменение органолептических показателей консервированного перца сладкого в зависимости от сорта и продолжительности хранения. Бюллетень науки и практики. 2018. № 9. Т. 4. С. 103-108.

11. Агроклиматические ресурсы Астраханской области. М.: Гидрометеиздат, 1974. 136 с.

12. Нуралиев С. У. Экономическая политика и ее роль в повышении конкурентоспособности продукции АПК. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2018. № 5. С. 8-11.

13. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы, утвержденная постановлением правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г за № 996.

14. Иванова В. Н., Серегин С. Н. Нарращивание объемов производства и расширение экспорта продукции – долгосрочные приоритеты развития АПК России. Пищевая промышленность. 2018. № 6. С. 22–26.

15. Маслова В., Авдеев М. Повышение конкурентоспособности отечественной агропродовольственной продукции и развитие цифровой экономики в АПК. АПК: экономика, управление, 2018. № 8. С. 4-11.

References

1. Gikalo G. S., Risch R. A. Pepper. Krasnodar. Publishing House: KGAU, 1997. 134 p.
2. Kigashpaeva O. P., Gulin A. V., Karakadzhiev A. S., Dzhabrailova V. Yu., Lavrova L. P. Economic qualities and seed productivity of sweet pepper selection VNIIFOR. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex. 2022. № 3 (67). Pp. 161-170.
3. Gulin A. V., Machulкина V. A., Kigashpaeva O.P., Lavrova L.P., Dzhabrailova V. Yu. Sweet pepper - vitamin product. Food industry. 2022. № 11. Pp. 25-28.
4. Gulin A. V., Machulкина V. A., Kigashpaeva O.P., Karakadzhiev A. S., Volodina S. A. Energy-saving drying of sweet pepper. Storage and recycling. 2022. № 2. Pp. 41-51.
5. Mukanov M. V., Gulin A. V., Karakadzhiev A. S. Prospects for cultivating sweet pepper in a seedless way in the Volga Delta. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex. 2022. № 4 (68). Pp. 134-143.
6. Gulin A. V., Kigashpaeva O. P., Kapanova R. Kh., Volodina S. A. Results and prospects of Astrakhan selection of vegetable and melons. Vegetables of Russia. 2021. № 5. Pp. 16-21.
7. Gulin A. V., Kigashpaeva O. P. Economically profitable for harvesting and transporting a variety of sweet pepper. Problems of development of the agro-industrial complex of the region. 2021. № 4. Pp. 35-39.
8. Machulкина V. A., Sannikova T. A., Gulin A. V. Lechnoye peppermint – vitamin food. Food industry. 2021. № 1. Pp. 32-35.
9. Machulкина V. A., Sannikova T. A., Pavlov L. V. New standard for a typical technological process for the production of sweet pepper. Problems of development of the agro-industrial complex of the region. 2016. № 2 (25). PART 2. Pp. 136-137.
10. Machulкина V. A., Sannikova T. A. Change in organoleptic indicators of canned sweet pepper depending on the variety and storage duration. Bulletin of Science and Practice. 2018. № 9. V. 4. Pp. 103-108.
11. Agroclimatic resources of the Astrakhan region. M.: Hydrometeoizdat, 1974. 136 p.
12. Nuraliev S. U. Economic policy and its role in increasing the competitiveness of agricultural products. Economy of agricultural and processing enterprises. 2018. № 5. Pp. 8-11.
13. Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2030, approved by Decree of the Government of the Russian Federation of August 25, 2017. No. 996.
14. Ivanova V. N., Seregin S. N. Increasing production volumes and expanding exports of products are long-term priorities for the development of the agro-industrial complex of Russia. Food industry. 2018. № 6. Pp. 22-26.
15. Maslova V., Avdeev M. Increasing the competitiveness of domestic agri-food products and the development of the digital economy in the agro-industrial complex. Agro-Industrial Complex: Economics, Management, 2018. № 8. Pp. 4-11.

Информация об авторах

Гулин Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный Центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, д. 16), ORCID0000-0001-6000-5311, e-mail: vniiob@mail.ru

Мачулкина Вера Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела агротехнологии и мелиорации, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, д. 16), ORCID 0000-0002-9051-6371, e-mail: vniiob@mail.ru

Муканов Михаил Владимирович, младший научный сотрудник отдела агротехнологии и мелиорации, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, д. 16), ORCID 0000-0003-1751-7340, e-mail: vniiob@mail.ru

Author's Information

Gulin Aleksander Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Director, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416341, Astrakhan region, Kamyzyak, st. Lyubicha, 16), ORCID0000-0001-6000-5311, e-mail: vniiob@mail.ru

Machulkina Vera Aleksandrovna, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agrotechnology and Reclamation, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416341, Astrakhan Region, Kamyzyak, st. Lyubich, 16), ORCID 0000-0002-9051-6371, e-mail: vniiob@mail.ru

Mukanov Mikhail Vladimirovich, Junior Researcher, Department of Agrotechnology and Reclamation, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable Growing and Melon Growing – Branch of the Federal State Budgetary Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416341, Astrakhan Region, Kamyzyak, st. Lyubich, 16), ORCID 0000-0003-1751-7340, e-mail: vniiob@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-14

STUDYING THE DROUGHT RESISTANCE OF SPRING BARLEY VARIETIES AT THE EARLY STAGES OF ONTOGENESIS

L. A. Kosykh, Yu. Yu. Nikonorova, A. V. Shipovalova, N. N. Ermilina

*Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Povolzhsky Research Institute of Breeding and Seed Production named after P. N. Konstantinov
Samara region, Kinel, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: laramart163@mail.ru

Received 29.09.2023

Submitted 15.11.2023

The research was carried out as part of the implementation of the State assignment on the topic "Scientific basis for the creation of new varieties of cereals, grain fodder and sorghum crops, with complex resistance to biological and abiotic stressors, with high economically valuable traits, ensuring stable yields in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region" (FMRW-2022-0019), state registration number of EGISU R&D 1021032424537-6-4.1.6

Summary

The article presents the results of a laboratory study on the drought resistance of spring barley varieties for seed germination and the initial stages of seedling formation in Petri dishes. Four varieties were studied: Finist, Povolzhskiy yantar, Povolzhskiy prize, Volga 49 and a new promising line H 2200/20 for seed germination in sucrose solution of 5%, 10% and 15% concentration. As a result, the variety Finist and Line N 2200/20 were distinguished, this can serve as the starting material for the creation of drought-resistant varieties of spring barley.

Abstract

Introduction. To date, the introduction of drought-resistant varieties into production is one of the main means in the fight against drought. An important role in increasing the yield and improving the quality of grain crops belongs to breeding for drought resistance. Therefore, breeders are faced with the task of creating varieties of spring barley that are drought-resistant throughout the entire growing season. The aim of the work is to diagnose the drought resistance of spring barley varieties at the initial stage of seed germination. **Object.** The object of research is varieties and a new line of spring barley bred by the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences: Finist, Povolzhsky Yantar, Povolzhsky 49, Povolzhsky Prize and a new promising Line H – 2200/20. **Materials and methods.** The research was carried out in the Samara region in 2022. The assessment of the relative drought resistance of spring barley was carried out according to the method of N. N. Kozhushko. In the control (sucrose-free) variant, distilled water was used for moisturizing, in the experimental variants, a sucrose solution (5, 10 and 15% concentration). **Results and conclusions.** Laboratory germination of spring barley seeds on sucrose solutions made it possible to obtain a drought-resistant assessment of varieties. In all studied varieties, a percentage decrease in seed germination was observed with an increase in the concentration of the solution. However, the new Line H 2200/20 showed high laboratory germination – 28% (at 10% concentration of sucrose solution) and 7% (at 15% concentration of sucrose solution). Also, this Line showed the maximum result in terms of the root length index – 0.22 (10% solution concentration) and 0.13 (15% solution concentration). According to the sprout length index, the Finist variety was distinguished at all studied concentrations of sucrose solution – 0.34; 0.14 and 0.06, respectively. Seeds of the Finist variety and the new promising Line H 2200/20 can germinate in conditions of lack of moisture, as they develop a greater absorption capacity than the ability of the external solution to prevent the passage of water. This variety and Line are drought-resistant and can serve as a promising source material for creating drought-resistant varieties.

Key words: spring barley, varieties of spring barley, lines of spring barley, germination of barley seeds, drought resistance of spring barley.

Citation. Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu., Shipovalova A. V., Ermilina N. N. Study of drought resistance of spring barley varieties at the early stages of ontogenesis. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 142-151. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-14.

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

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

УДК 633.16:631.526.32:632.112

ИЗУЧЕНИЕ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА РАНИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

Л. А. Косых, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Ю. Ю. Никонорова, младший научный сотрудник

А. В. Шиповалова, младший научный сотрудник

Н. Н. Ермилина, младший научный сотрудник

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,

Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства

им. П. Н. Константинова

г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

Исследования проводились 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. На сегодняшний день внедрение в производство засухоустойчивых сортов – одно из главных средств в борьбе с засухой. Важная роль в увеличении урожайности и улучшении качества зерновых культур принадлежит селекции на засухоустойчивость. Поэтому перед

селекционерами стоит задача создания сортов ярового ячменя, засухоустойчивых в течение всего периода вегетации. Цель исследований – диагностика засухоустойчивости сортов ярового ячменя на первоначальном этапе прорастания семян. **Объект исследований** – сорта и новая линия ярового ячменя селекции Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук: Финист, Поволжский янтарь, Поволжский 49, Поволжский приз и новая перспективная Линия Н – 2200/20. **Материалы и методы.** Исследования проведены в Самарской области в 2022 году. Оценку относительной засухоустойчивости ярового ячменя проводили согласно методике Н. Н. Кожушко. В контрольном (бессахарозном) варианте для увлажнения использовали дистиллированную воду, в опытных вариантах – раствор сахарозы (5, 10 и 15%-ной концентрации). **Результаты и выводы.** Лабораторное проращивание семян ярового ячменя на сахарозных растворах позволило получить засухоустойчивую оценку сортов. У всех изучаемых сортов наблюдалось процентное снижение прорастания семян с увеличением концентрации раствора. Однако высокую лабораторную всхожесть показала новая Линия Н 2200/20 – 28% (при 10% концентрации раствора сахарозы) и 7% (при 15% концентрации раствора сахарозы). Также данная Линия показала максимальный результат по индексу длины корня – 0,22 (10% концентрация раствора) и 0,13 (15% концентрация раствора). По индексу длины ростка выделился сорт Финист при всех изучаемых концентрациях раствора сахарозы – 0,34; 0,14 и 0,06 соответственно. Семена сорта Финист и новая перспективная Линия Н 2200/20 могут прорасти в условиях недостатка влаги, так как они развивают большую поглощательную способность, чем способность внешнего раствора препятствовать прохождению воды. Данный сорт и Линия являются засухоустойчивыми и могут служить перспективным исходным материалом для создания засухоустойчивых сортов.

Ключевые слова: яровой ячмень, сорта ярового ячменя, линии ярового ячменя, всхожесть семян ячменя, засухоустойчивость ярового ячменя.

Цитирование. Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю., Шиповалова А. В., Ермилина Н. Н. Изучение засухоустойчивости сортов ярового ячменя на ранних этапах онтогенеза. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72) 142-151. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-14.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Яровой ячмень (*Hordeum vulgare*) является одной из важных зерновых культур, широко используемых в пищевой и пивоваренной промышленности. Однако ячмень, как и многие другие растения, подвержен воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, включая засуху.

Засуха является одной из наиболее серьезных проблем сельского хозяйства, прежде всего из-за своего неблагоприятного влияния на урожайность и качество сельскохозяйственных культур. В условиях засушливых регионов ячмень становится особенно уязвимым к неблагоприятным факторам среды [1, 2].

Во все периоды развития ярового ячменя засуха неблагоприятно воздействует на растение, однако в фазу кущения и образования вторичных корней, а также в период колошения и налива зерна растения более подвержены негативному воздействию засухи, впоследствии которой отмечается преждевременное созревание зерна и, как исход, его щуплость [3, 4]. В условиях засухи и при влиянии высоких температур во время цветения, цветки растения теряют способность к завязываемости зерна, что сказывается на урожайности культуры [4, 5].

Засухоустойчивость – это наследственная способность растения противостоять периодическому дефициту влаги без существенных последствий для роста, развития и снижения продуктивности [5, 6].

Селекция на засухоустойчивость является эффективным инструментом в борьбе с засухами. Активно проводятся исследования по выведению сортов ячменя, которые обладают повышенной устойчивостью к засухе [7, 8].

Для сокращения селекционного процесса определение относительной засухоустойчивости проводят с помощью лабораторных физиологических методов оценки. Метод оценки относительной засухоустойчивости – это определение способности прорастания семян в условиях осмотического стресса с высоким давлением (имитация почвенной влаги). Это позволяет понять общий физиолого-биохимический процесс прорастания семени в стрессовых условиях и дает представление об устойчивости взрослого растения [5, 9, 10, 11]. Образцы, семена которых способны прорасти в условиях почвенной засухи и на ранних этапах органогенеза формировать развитую первичную корневую систему, в дальнейшем можно использовать в качестве исходного материала с высокой засухоустойчивостью [5, 12].

Цель исследований – диагностика засухоустойчивости сортов ярового ячменя на первоначальном этапе прорастания семян.

Материалы и методы. Исследования проводили в лаборатории селекции и семеноводства зернофуражных культур Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиала СамНЦ РАН. В качестве исходного материала для исследования послужили сорта и новая линия ярового ячменя селекции Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук: Финист, Поволжский янтарь, Поволжский 49, Поволжский приз и новая перспективная Линия Н-2200/20.

Для изучения отобрали оригинальные семена ярового ячменя урожая 2022 года. В контрольном варианте всхожесть была 93-95%, что соответствует ГОСТу 52325-2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия».

Оценку засухоустойчивости проводили по методике Н. Н. Кожушко (Определение относительной засухоустойчивости и жаростойкости образцов зерновых культур (пшеница, ячмень) способом проращивания семян в растворах сахарозы и после прогревания. Методические указания. Л.: Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова, 1982).

Для создания опытных вариантов по различной степени засухоустойчивости приготовили растворы с сахарозой в дистиллированной воде с 5, 10 и 15%-ной концентрацией.

Проращивания семян проводили на фильтровальной бумаге в чашках Петри в количестве 100 семян в четырехкратной повторности. В контрольном образце использовали дистиллированную воду, в опытных – раствор сахарозы в разных концентрациях, чашки Петри поместили в термостат при температуре 21-22⁰С. На седьмые сутки проводили оценку всхожести. Определяли всхожесть и выражали в процентах, в сравнение с контрольным образцом. Также измеряли длину ростка, корня и количество корней.

Затем рассчитывали среднее значения признаков, стандартную ошибку среднего ($X \pm m$). На основе средних значений длины корня и ростка рассчитывали индексы длины корня и ростка, равные отношению соответствующих параметров растений в опытных вариантах к контролю. Более засухоустойчивым считали сорт с высоким значением индекса.

Статистическую обработку результатов выполняли методами дисперсионного анализа [13] с использованием программы Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение. При изучении засухоустойчивости сортов ячменя была определена зависимость всхожести семян от условий и сорта. По результатам дисперсионного анализа выявлены достоверные различия по степени всхожести семян

(фактор А – концентрация раствора сахарозы, фактор В – сорт). На число проросших семян наибольшее влияние оказала концентрация раствора сахарозы – 86,21%, фактор сорта – 1,43%, их взаимодействие – 5,15%.

Всхожесть изучаемых сортов при увеличении концентрации раствора сахарозы до 5% оставалась довольно высокой и составила от 35% (сорт Поволжский янтарь) до 45% (сорт Поволжский 49) (рисунок 1).

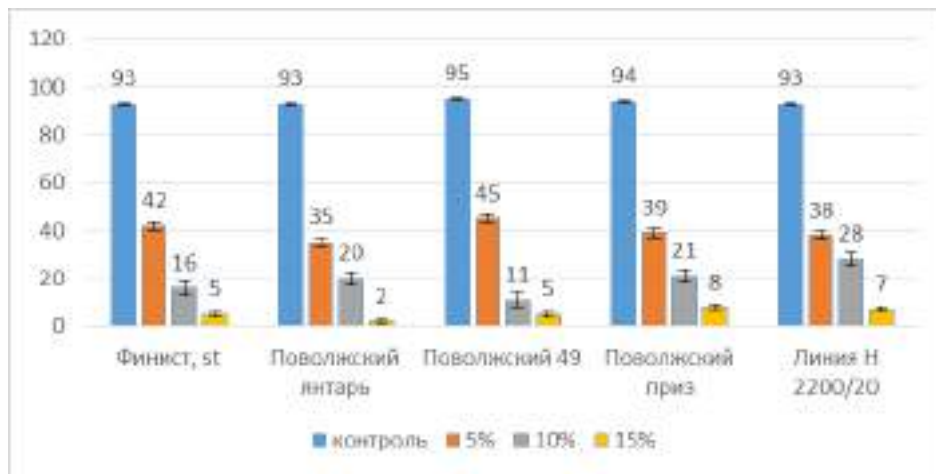


Рисунок 1 – Всхожесть (%) семян сортов ячменя в условиях прорастания на растворах сахарозы
Figure 1 – Germination (%) seeds of barley varieties under conditions of germination on sucrose solutions

При дальнейшем повышении концентрации раствора до 10% выделилась новая Линия Н 2200/20, всхожесть семян по сравнению с контролем снизилась на 65%, в то время как у остальных сортов на 73-84%.

При концентрации раствора сахарозы 15% снижение всхожести по сравнению с контролем составило 86-91%, только у двух сортов Поволжский приз и Линия Н-2200/20 данный показатель был максимальным и составил 8% и 7% соответственно.

Наиболее восприимчивый к засушливым условиям оказался сорт Поволжский янтарь, у которого снижение всхожести относительно контроля было наибольшим и составило 58% при воздействии минимальной концентрации раствора сахарозы 5%. При наибольшей концентрации раствора 15% всхожесть семян также была минимальной и составила 2% (рисунок 1).

Высокую лабораторную всхожесть при концентрациях раствора 10% и 15% показала новая перспективная Линия Н 2200/20 – 28% и 7% соответственно.

Сорт Поволжский 49 оказался самым чувствительным к концентрации раствора сахарозы в 10%, всхожесть семян по сравнению с контролем снизилась на 84%.

В формировании свойств засухоустойчивости участвуют все структуры и органы растительного организма, в том числе и корневая система. При засухе основная часть урожая обеспечивается в результате деятельности первичной корневой системы.

Количество зародышевых корней в контрольном варианте составило от 5,48 шт. (сорт Финист) до 5,95 шт. (сорт Поволжский 49). При повышении концентрации раствора сахарозы до 5% наименьшее снижение количества зародышевых корней по сравнению с контролем отмечено у сортов Поволжский 49 и Поволжский янтарь на 6,4-6,8%, у остальных сортов этот показатель составил 15,3-21,0% (таблица).

При дальнейшем повышении концентрации раствора до 10% наименьшее снижение количества корней наблюдалось у сорта Поволжский янтарь на 21,8%, а наибольшее – у сорта Поволжский приз – на 43,2%, у остальных сортов данный показате-

тель составил 26,6-33,4%. При концентрации раствора сахарозы 15% произошло значительное снижение образования количества зародышевых коней у сорта Поволжский янтарь (на 80%), Поволжский 49 (52,1%), Финист (51,8%), Поволжский приз (49,6%), Линия Н 2200/20 (на 34,7%) (таблица).

Таблица – Влияние растворов сахарозы на образование зародышевых корней и ростка сортов ярового ячменя

Table – Influence of sucrose solutions on the formation of germinal roots and sprout of spring barley varieties

Вариант (концентрация)	Зародышевые корни		Длина ростка (X± m), см
	количество (X± m), шт.	длина (X ± m), см	
Финист			
Контроль (0)	5,48±0,35	7,72±2,16	5,65±1,76
5 %	4,40±0,42	2,41±0,23	1,89±0,51
10 %	3,65±0,37	1,20±0,30	0,77±0,13
15 %	2,64±0,79	0,84±0,43	0,36±0,32
НСР ₀₅	0,83	1,87	1,58
Поволжский янтарь			
Контроль (0)	5,63±0,26	9,19±0,95	5,62±0,89
5 %	5,25±0,38	2,97±0,58	0,89±0,15
10 %	4,40±0,18	1,78±0,18	0,50±0,09
15 %	1,13±0,25	0,35±0,06	0,05±0,06
НСР ₀₅	0,47	0,98	0,75
Поволжский 49			
Контроль (0)	5,95±0,20	10,06±0,56	6,11±0,39
5 %	5,57±0,09	3,53±0,43	0,93±0,11
10 %	3,65±0,56	1,08±0,11	0,27±0,05
15 %	2,85±0,81	0,70±0,21	0,01±0,02
НСР ₀₅	0,74	0,69	0,33
Поволжский приз			
Контроль (0)	5,63±0,38	8,96±0,82	5,86±0,57
5 %	4,45±0,41	3,40±0,16	1,42±0,23
10 %	3,20±1,73	1,22±1,01	0,29±0,33
15 %	2,84±0,39	1,07±0,25	0,25±0,05
НСР ₀₅	1,61	1,02	0,53
Линия Н 2200/20			
Контроль (0)	5,93±0,35	9,08±0,64	6,86±0,47
5 %	5,02±0,35	2,35±0,36	1,88±0,44
10 %	4,35±0,19	2,01±0,37	0,63±0,34
15 %	3,87±0,60	1,21±0,58	0,02±0,04
НСР ₀₅	0,64	0,35	0,54

Действие сахарозы оказало глобальное влияние на рост и развитие проростков изучаемых сортов ярового ячменя. В контрольных условиях наиболее интенсивным первоначальным ростом корней отличался сорт Поволжский 49, длина корня которого составила 10,06 см, против 7,72-9,19 см у остальных изучаемых сортов (см. табл.). Высокую длину ростка обеспечивала новая Линия Н 2200/20 – 6,86 см, превысив другие сорта на 14,6-18,1%.

При концентрации раствора 5% наименьшее отклонение от контрольного варианта отмечено у сорта Поволжский 49 (корни – 64,9%), Поволжский приз (корни – 62,0%), Финист (корни – 68,8%, росток- 66,5%). С увеличением концентрации раствора до 10%

наблюдалось снижение роста корней у Линии Н 2200/20 на 77,9%, у сорта Поволжский янтарь на 80,6%, Финист на 84,5%, Поволжский приз на 86,4% и сорта Поволжский 49 на 89,3%; ростков – на 90,8%, 91,1%, 86,4%, 95,1% и 95,6% соответственно.

При дальнейшем увеличении концентрации раствора сахарозы до 15% наименьшее снижение длины корня по сравнению с контрольным вариантом отмечено у Линии Н 2200/20 на 86,7%, у остальных сортов на 88,1-96,2%; по длине ростка у сорта Финист на 93,6%, у остальных сортов на 95,7-99,7% (таблица).

Значительное отрицательное влияние на длину ростка отмечалось при всех изучаемых концентрациях раствора сахарозы, из чего можно заключить, что рост корня угнетается в меньшей степени, чем надземные органы.

Для оценки изучаемых сортов по уровню засухоустойчивости были рассчитаны индекс длины корня и индекс длины ростка.

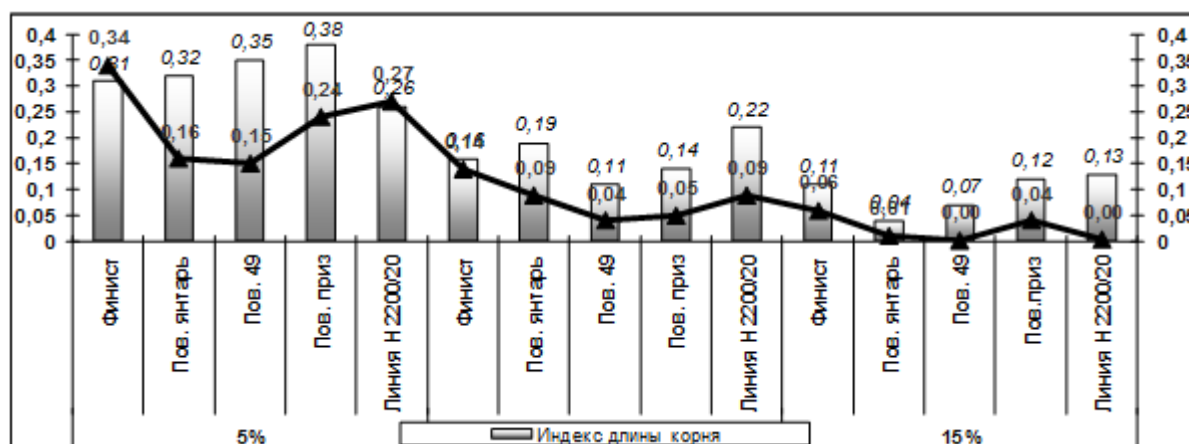


Рисунок 2 – Показатели индекса длины корня и ростка сортов ярового ячменя в условиях прорастания на растворах сахарозы

Figure 2 – Indicators of the root and sprout length index of spring barley varieties under conditions of germination on sucrose solutions

По индексу длины корня при высоких уровнях концентрации раствора сахарозы 10% и 15% выделилась новая Линия Н 2200/20 (0,22 и 0,13 соответственно). При концентрации в 5% наибольший показатель отмечен у сорта Поволжский приз – 0,38 (рисунок 2).

По индексу длины ростка выделился сорт Финист при всех изучаемых концентрациях раствора – 0,34; 0,14; 0,06 соответственно.

Заключение. Лабораторный метод проращивания семян ярового ячменя на растворе сахарозы позволяет дать косвенную оценку сортам по засухоустойчивости. При увеличении концентрации раствора и повышении осмотического давления отмечено снижение процента прорастания семян у всех изучаемых сортов. Однако высокую лабораторную всхожесть показала новая Линия Н 2200/20 – 28% (при 10% концентрации раствора сахарозы) и 7% (при 15% концентрации раствора сахарозы). Также данная Линия показала максимальный результат по индексу длины корня – 0,22 (10% концентрация раствора) и 0,13 (15% концентрация раствора). По индексу длины ростка выделился сорт Финист при всех изучаемых концентрациях раствора сахарозы – 0,34; 0,14 и 0,06 соответственно.

Семена сорта Финист и новая перспективная Линия Н 2200/20 могут прорасти в условиях слабо доступной влаги, так как они развивают большую поглощательную способность, чем способность внешнего раствора препятствовать проникновению воды. Данный сорт и Линия являются засухоустойчивыми и могут служить перспективным исходным материалом для создания засухоустойчивых сортов.

Conclusions. The laboratory method of germinating spring barley seeds in a sucrose solution makes it possible to give an indirect assessment of varieties for drought resistance. With increasing solution concentration and increasing osmotic pressure, a decrease in the percentage of seed germination was noted in all studied varieties. However, the new Line N 2200/20 showed high laboratory germination rates – 28% (at a 10% concentration of sucrose solution) and 7% (at a 15% concentration of sucrose solution). Also, this Line showed the maximum result in terms of root length index – 0.22 (10% solution concentration) and 0.13 (15% solution concentration). According to the sprout length index, the Finist variety stood out at all studied concentrations of sucrose solution – 0.34; 0.14 and 0.06 respectively.

Seeds of the Finist variety and the new promising Line N 2200/20 can germinate in conditions of poorly available moisture, since they develop a greater absorption capacity than the ability of the external solution to prevent the penetration of water. This variety and Line are drought-resistant and can serve as a promising source material for the creation of drought-resistant varieties.

Библиографический список

1. ИONOBA E. B., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени её интенсивности (обзор литературы). *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 6 (66). С. 18-22.
2. Козубовская Т. В., Балакшина В. И. Результаты экологического испытания ярового ячменя различных экотипов в засушливых условиях Волгоградской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018. Т. 179. № 3. С. 60-67.
3. Cai K., Chen X., Han Z., Wu X., et al. Screening of Worldwide Barley Collection for Drought Tolerance: The Assessment of Various Physiological Measures as the Selection Criteria. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. Pp. 1159.
4. Юсова О. А., Николаев П. Н., Бендина Я. Б., Сафонова И. В. и др. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. № 4. С. 44-55.
5. Газе В. Л., Лобунская И. А., Костылев П. И., Филиппов Е. Г. Оценка засухоустойчивости образцов ярового ячменя в начальный период развития на осмотическом растворе. *Зерновое хозяйство России*. 2022. Т. 14. № 4. С. 34-38.
6. Macholdt J., Honermeier B. Yield Stability in Winter Wheat Production: A Survey on German Farmers and Advisors Views. *Agronomy*. 2017. Vol. 7 (3). P. 45.
7. Левакова О. В. Лабораторный скрининг засухоустойчивости сортов и перспективных линий ярового ячменя и их стабильность урожая в полевых условиях Рязанской области. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020. № 4 (36). С. 143-147.
8. Кокина Л. П., Щенникова И. Н., Зайцева И. Ю. Оценка коллекционных образцов ячменя на устойчивость к осмотическому стрессу. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. Т. 66. № 5. С. 40-44.
9. Sallam A., Alqudah A. M., Mona F. A. D., Baenziger P. S., Borner A. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research. *International Journal of Molecular Science*. 2019. Vol. 20. P. 3137.
10. Елисеев С. Л., Яркова Н. Н., Ашихмин Н. В., Батуева И. В. Изучение лабораторной всхожести семян зерновых культур в зависимости от метеорологических и агротехнических условий. *Пермский аграрный вестник*. 2016. № 1 (13). С. 3-7.
11. Газе В. Л., Лиховидова В. А., ИONOBA E. B. Определение уровня засухоустойчивости образцов озимой мягкой пшеницы прямым и косвенным методами. *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 2. С. 25-28.
12. Marthandan V., Geetha R., Kumutha K. and etc. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants. *International Journal of Molecular Science*. 2020. Vol. 21. P. 8258.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 2014. 336 с.

References

1. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Drought and hydrothermal moisture coefficient as one of the criteria for assessing the degree of its intensity (literature review). *Grain Economy of Russia*. 2019. No 6 (66). Pp. 18-22.

2. Kozubovskaya T. V., Balakshina V. I. Results of environmental testing of spring barley of various ecotypes in arid conditions of the Volgograd region. Proceedings on applied botany, genetics and selection. 2018. V. 179. No 3. Pp. 60-67.
3. Cai K., Chen X., Han Z., Wu X., et al. Screening of Worldwide Barley Collection for Drought Tolerance: The Assessment of Various Physiological Measures as the Selection Criteria. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. Pp. 1159.
4. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Bendina Ya. B., Safonova I. V., et al. Stress resistance of barley varieties of various agroecological origin for conditions of a sharply continental climate. Works on applied botany, genetics and breeding. 2020. V. 181. No 4. Pp. 44-55.
5. Gaze V. L., Lobunskaya I. A., Kostylev P. I., Filippov E. G. Evaluation of drought resistance of spring barley samples in the initial period of development on an osmotic solution. *Grain economy of Russia*. 2022. V. 14. No 4. Pp. 34-38.
6. Macholdt J., Honermeier B. Yield Stability in Winter Wheat Production: A Survey on German Farmers and Advisors Views. *Agronomy*. 2017. Vol. 7 (3). P. 45.
7. Levakova O. V. Laboratory screening of drought resistance of varieties and promising lines of spring barley and their yield stability in the field conditions of the Ryazan region. *Grain legumes and cereals*. 2020. No 4 (36). Pp. 143-147.
8. Kokina L. P., Shchennikova I. N., Zaitseva I. Yu. Evaluation of collection barley samples for resistance to osmotic stress. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2018. V. 66. No 5. Pp. 40-44.
9. Sallam A., Alqudah A. M., Mona F. A. D., Baenziger P. S., Borner A. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research. *International Journal of Molecular Science*. 2019. Vol. 20. P. 3137.
10. Eliseev S. L., Yarkova N. N., Ashikhmin N. V., Batueva I. V. Study of laboratory germination of grain seeds depending on meteorological and agrotechnical conditions. *Perm Agrarian Bulletin*. 2016. № 1 (13). Pp. 3-7.
11. Gaze V. L., Likhovidova V. A., Ionova E. V. Determination of the level of drought resistance of winter soft wheat samples by direct and indirect methods. *Grain Economy of Russia*. 2018. No 2. Pp. 25-28.
12. Marthandan V., Geetha R., Kumutha K. and etc. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants. *International Journal of Molecular Science*. 2020. Vol. 21. P. 8258.
13. Dospekhov B. A. Methods of field experience. M.: Kolos, 2014. 336 p.

Информация об авторах

Косых Лариса Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернофуражных культур, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), e-mail: laramart163@mail.ru

Никонорова Юлия Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернофуражных культур, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), e-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

Шиповалова Анна Валерьевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернофуражных культур, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), e-mail: anna.shipovalova.17@mail.ru

Ермилина Наталья Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернофуражных культур, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), e-mail: Ermilinaamilana@gmail.com

Author's Information

Kosykh Larisa Aleksandrovna, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the Laboratory of Selection and Seed Production of Grain Forage Crops, Volga Region Research Institute of Selection and Seed Production named after P. N. Konstantinova – branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya str., 76), e-mail: laramart163@mail.ru

Nikonorova Yulia Yurievna, junior researcher at the Laboratory of Selection and Seed Production of Grain Forage Crops, Volga Region Research Institute of Selection and Seed Production named after P. N. Konstantinova – branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya str., 76), e-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

Shipovalova Anna Valerievna, junior researcher at the Laboratory of Selection and Seed Production of Grain Forage Crops, Volga Region Research Institute of Selection and Seed Production named after P. N. Konstantinova – branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya str., 76), e-mail: anna.shipovalova.17@mail.ru

Ermilina Natalya Nikolaevna, junior researcher at the Laboratory of Selection and Seed Production of Grain Forage Crops, Volga Region Research Institute of Selection and Seed Production named after P. N. Konstantinova – branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya str., 76), e-mail: ErmilinaMilana@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-15

EVALUATION OF NEW VARIETIES OF *ORICANIUM VULGARE* L. ON ECONOMICALLY USEFUL GROUNDS

T. V. Sachivko¹, V. N. Bosak¹, G. S. Egorova², A. I. Ryadnov², L. V. Lebedeva²

¹Belarussian State Agricultural Academy
Gorki, Belarus

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: bosak1@tut.by

Received 06.09.2023

Submitted 10.11.2023

Summary

The article presents the results of the assessment of new varieties of oregano (*Origanum vulgare* L.) by the main morphological, morphometric and phenological features, as well as by the yield and quality of commercial products. New varieties of oregano are recommended for use in agricultural production and for home gardening.

Abstract

Introduction. Oregano (*Origanum vulgare* L.) refers to valuable medical, spicy-aromatic and essential oil crops and is widely used in various sectors of the economy: perfumery and cosmetology, traditional and folk medicine, cooking and food industry, ornamental and landscape gardening. The purpose of the research was to study the economically useful features of new regionalized varieties of oregano. **Object.** The objects of research were the local population and new zoned varieties of oregano, including the author's varieties Zavirukha and Aksamit selection of the Belarussian State Agricultural Academy. **Materials and methods.** The studies were carried out in the field and laboratory according to generally accepted methods. **Results and conclusions.** As a result of the research, the main morphological, morphometric and phenological characteristics, yield and quality of marketable products of the local population and new zoned varieties of oregano were studied. The variety of oregano with a white color of the corolla Zavirukha formed the yield of green mass in the phase "beginning of flowering" 180–185 c/ha, the variety with a pink saturated color of the corolla Aksamit – 185–190 c/ha, the variety with the pink color of the corolla Greta – 180–185 c/ha with an essential oils content of 0.54, 0.57 and 0.51 %, respectively, crude protein 9.3, 9.5 and 9.0 % and a seed yield of 0.5 c/ha. New varieties of oregano are included in the State Register of Varieties of the Republic of Belarus and are recommended for use in agricultural production and for home gardening.

Key words: *oregano, oregano varieties, oregano yield, zoned oregano varieties, medicinal plants.*

Citation. Sachivko T. V., Bosak V. N., Egorova G. S., Ryadnov A. I., Lebedeva L. V. Evaluation of new varieties of *Origanum vulgare* L. on economically useful grounds. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 151-159. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-15.

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

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

УДК 635.714:631.527

ОЦЕНКА НОВЫХ СОРТОВ *ORIGANUM VULGARE* L. ПО ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫМ ПРИЗНАКАМ

Т. В. Сачивко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

В. Н. Босак¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Г. С. Егорова², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А. И. Ряднов², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Л. В. Лебедева², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Республика Беларусь

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.) относится к ценным лекарственным, пряно-ароматическим и эфирно-масличным культурам и широко используется в различных отраслях экономики: кулинарии и пищевой промышленности, косметологии и фармацевтике, традиционной и народной медицине, декоративном садоводстве и ландшафтном озеленении. **Целью** исследований являлось изучение хозяйственно полезных признаков новых районированных сортов душицы обыкновенной. **Объектами исследований** являлись местная популяция и новые районированные сорта душицы обыкновенной, в том числе авторские сорта Завіруха и Аксаміт селекции УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». **Материалы и методы.** Исследования проводили в полевых и лабораторных условиях согласно общепринятым рекомендациям по возделыванию душицы обыкновенной и методикам Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. **Результаты и выводы.** В результате исследований изучены основные морфологические, морфометрические и фенологические признаки, урожай и качество товарной продукции местной популяции и новых районированных сортов душицы обыкновенной. Сорт душицы обыкновенной с белой окраской венчика Завіруха формировал урожайность зеленой массы в фазе «начало цветения» 180–185 ц/га, сорт с розовой насыщенной окраской венчика Аксаміт – 185–190 ц/га, сорт розовой окраской венчика Грета – 180–185 ц/га при содержании эфирных масел соответственно 0,54, 0,57 и 0,51 %, сырого протеина 9,3, 9,5 и 9,0 % и урожайности семян 0,5 ц/га. Новые сорта душицы обыкновенной внесены в Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений Республики Беларусь и рекомендуются для использования в сельскохозяйственном производстве и для приусадебного возделывания.

Ключевые слова: душица обыкновенная, сорта душицы обыкновенной, урожайность душицы обыкновенной, районированные сорта душицы, лекарственные растения.

Цитирование. Сачивко Т. В., Босак В. Н., Егорова Г. С., Ряднов А. И., Лебедева Л. В. Оценка новых сортов *Origanum vulgare* L. по хозяйственно-полезным признакам. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 151-159. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-15.

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. Душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.) – многолетнее травянистое растение рода Душица (*Origanum*) семейства Яснотковые (*Lamiaceae*), включающего в себя более 50 видов [1–3].

Душица обыкновенная относится к ценным пряно-ароматическим, эфирномасличным и лекарственным культурам и широко используется в различных отраслях экономики: кулинарии и пищевой промышленности, косметологии и фармацевтике, традиционной и народной медицине, декоративном садоводстве и ландшафтном озеленении.

У душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) в пищу в качестве пряной приправы употребляют как свежие, так и сухие листья и соцветия. Сушеная или свежая трава (пряность «орегано») хорошо сочетается с другими пряностями, в частности с черным перцем, базиликом, розмарином и майораном. В парфюмерно-косметической промышленности эфирные масла душицы обыкновенной используют для ароматизации туалетного мыла, одеколонов, зубных паст и помад. Душица и ее эфирные масла используются в традиционной и народной медицине в составе грудных, потогонных и ветрогонных сборов, при простудных и других заболеваниях органов дыхания, в качестве противовоспалительного, отхаркивающего, стимулирующего и укрепляющего средства. Эфирные масла применяют также при изготовлении ликеров и наливок, а также в пивоваренном производстве. Душицу также выращивают как декоративное растение и в качестве натурального природного красителя. Она является хорошим нектароносом и природным фитобиотиком [2, 4–15].

Целью наших исследований являлось изучение хозяйственно полезных признаков новых районированных сортов душицы обыкновенной.

Материалы и методы. Исследования по оценке хозяйственно полезных признаков различных сортов душицы обыкновенной проводили в полевых и лабораторных экспериментах в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (г. Горки, Республика Беларусь) в 2016–2023 гг.

Полевые опыты проводили в условиях дерново-подзолистой суглинистой почвы, лабораторные эксперименты – на кафедре ботаники и физиологии растений, в испытательной лаборатории качества семян и химико-экологической лаборатории УО БГСХА. Исследовали местную популяцию, а также сорта душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), внесенные в Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений Республики Беларусь: Грета, Завіруха и Аксаміт (сорта Завіруха и Аксаміт созданы в УО БГСХА, авторы: Т. В. Сачивко, В. Н. Босак) [2, 3, 16, 17].

Полевые и лабораторные исследования проводили согласно существующим методикам [17–19].

Результаты и обсуждение. Как показали результаты исследований, изучаемые сорта и исходная местная популяция душицы обыкновенной характеризовались комплексом хозяйственно полезных признаков (таблица, рисунок).

Высота растений у сорта Завіруха составила 70–80 см, у сорта Аксаміт – 70–75 см, у сорта Грета (контроль) – 65–70 см, у местной популяции – 65–85 см, что позволяет отнести все образцы к среднерослым растениям.

Новые сорта душицы обыкновенной характеризовались рыхлой плотностью куста, светло-зеленой (сорт Завіруха) и зеленой (сорт Аксаміт) окраской стебля со средней ее интенсивностью. У сортов Аксаміт и Грета в окраске стебля присутствовала средняя антоциановая окраска, у местной популяции – зеленая окраска стебля различной интенсивности и наличия антоциана. У сорта Завіруха окраска листовой пластинки – светло-зеленая, у сортов Аксаміт и Грета – зеленая сильной интенсивности, у местной популяции – зеленой окраски различной интенсивности при продолговато-яйцевидной форме у всех исследуемых образцов.

Таблица – Основные хозяйственно ценные признаки *Origanum vulgare* L.

Table – The main economically valuable features of *Origanum vulgare* L.

Признак	Местная популяция	Сорт Завіруха	Сорт Аксаміт	Сорт Грета (контроль)
Морфометрические и морфологические признаки				
Высота растений, см	65–85	70–80	70–75	65–70
Плотность куста	рыхлый, сомкнутый	рыхлый	рыхлый	полу-сомкнутый
Окраска стебля	оттенки зеленого	светло-зеленая	зеленая	зеленая
Интенсивность окраски	слабая, средняя, сильная	средняя	сильная	сильная
Антоциановая окраска	слабая, средняя	слабая или отсутствует	средняя	средняя
Форма стебля	четырёхгранный прямостоячий			
Длина междоузлий, см	5,0–7,0	5,5–6,5	5,5–6,5	5,0–7,0
Листовая пластинка: форма	продолговато-яйцевидная			
длина, см	2,0–3,0	3,0–4,0	3,0–4,0	2,0–3,0
ширина, см	2,0–3,0	2,0–3,0	2,0–3,0	2,0–2,5
окраска	оттенки зеленого	светло-зеленая	зеленая	зеленая
Соцветия: форма	щитковидно-метельчатая			
длина, см	15–25	16–24	16–24	15–25
Окраска венчика	оттенки белого и розового	белая	розовая насыщенная	от розовой до бордовой
Антоциановая окраска	отсутствует, слабая, средняя	слабая или отсутствует	средняя	средняя
Плод	орешек			
Количество дней от отрастания до:				
Фазы бутонизации	65–100	73–93	70–90	64–95
фазы массового цветения	80–115	86–107	85–105	85–114
фазы созревания семян	120–160	128–150	125–145	124–148
Вегетационный период, дней	170–190	175–185	170–180	170–180
Показатели продуктивности				
Масса 1 растения, г	230–285	260–270	265–275	260–280
Урожайность зеленой массы, ц/га	165–195	180–185	185–190	185–190
Сухое вещество, %	23,5–25,8	24,8	24,4	25,1
Эфирные масла, %	0,48–0,55	0,54	0,57	0,51
Сырой протеин, %	8,6–9,7	9,3	9,5	9,0
Масса 1000 семян, г	0,1	0,1	0,1	0,1
Урожайность семян, ц/га	0,5	0,5	0,5	0,5



сорт Завіруха



сорт Аксаміт



сорт Грета



сорт Грета, сорт Завіруха, сорт Аксаміт

Рисунок – Изучаемые сорта душицы обыкновенной

Figure – Studied varieties of oregano

Все исследуемые образцы характеризовались такими близкими морфометрическими показателями, как длина междоузлий (5,0–7,0 см у сорта Грета и местной популяции, 5,5–6,5 см – у новых сортов Завіруха и Аксаміт) и размеры листовой пластинки (длина – 2,0–3,0 см, ширина – 2,0–2,5 см у сорта Грета, 2,0 – 3,0 см (ширина и длина) у местной популяции и, соответственно, 3,0–4,0 (длина) и 2,0–3,0 см (ширина) – у новых сортов душицы обыкновенной).

Наиболее существенное различие отмечено в окраске венчика: у сорта Завіруха – белая без антоциана, у сорта Аксаміт – розовая насыщенная со средним антоцианом. У местной популяции, из которой и были отобраны новые сорта душицы обыкновенной, в окраске венчика преобладали различные оттенки белого и розового. У сорта Грета окраска венчика характеризовалась сильной вариабельностью (от розовой до бордовой с сильной антоциановой окраской), что объясняется особенностью создания данного сорта методом индивидуально-семейственного отбора из дикорастущих популяций.

Длина соцветия щитковидно-метельчатой формы у сорта Грета и местной популяции оказалась 15–25 см, у новых сортов душицы – 16–24 см.

По продолжительности вегетационного периода новые сорта душицы обыкновенной относятся к среднеспелым (сорт Завіруха – 175–185 дней, сорт Аксаміт – 170–180 дней) при количестве дней до фазы бутонизации соответственно 73–93 и 70–90, до фазы массового цветения – 86–107 и 85–105, до фазы созревания семян – 128–150 и 125–145 дней.

У сорта Грета длина вегетационного периода составила 170–180 дней, у местной популяции – 170–190 дней.

Определенная вариабельность в наступлении основных фаз роста и развития растений душицы обыкновенной обусловлена различиями в погодных условиях вегетационных периодов – в теплых и засушливых условиях фазы наступают раньше и проходят быстрее, в прохладных и дождливых – позже и занимают более продолжительное время.

По основным показателям продуктивности новых сорта душицы обыкновенной также характеризовались достаточно близкими показателями: масса 1 растения у сорта Завіруха составила 260–270 г, у сорта Аксаміт – 265–275 г, у сорта Грета – 260–280 г,

урожайность зеленой массы в фазу цветения (2 год возделывания) – соответственно 180–185, 185–190 и 185–190 ц/га (у местной популяции: 230–285 г – вес 1 растения и 165–195 ц/га – урожайность зеленой массы).

Семенная продуктивность у всех исследуемых образцов душицы обыкновенной характеризовалась равнозначными показателями: масса 1000 семян в среднем составила 0,1 г, урожайность семян – 0,5 ц/га.

Содержание эфирных масел в зеленой массе в фазу цветения у сорта Завіруха с белой окраской венчика оказалось 0,54 %, у сорта Аксаміт с розовой насыщенной окраской венчика – 0,57 %, у сорта Грета с розовой окраской венчика разной интенсивности – 0,51 % при содержании сырого протеина соответственно 9,3, 9,5 и 9,0 %.

У местной популяции душицы обыкновенной эти показатели были более вариабельны: содержание эфирных масел – 0,48–0,55 %, содержание сырого протеина – 8,6–9,7 %, содержание сухого вещества – 23,5–25,8 %.

Выводы. Сорта душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) Грета, Аксаміт и Завіруха характеризуются комплексом морфометрических, морфологических и фенологических признаков, внесены в Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений Республики Беларусь и рекомендуются для использования в сельскохозяйственном производстве и для приусадебного возделывания.

Урожайность зеленой массы душицы обыкновенной сорта Грета (розовая окраска венчика) составила 185–190 ц/га при массе одного растения 260–280 г, Аксаміт (розовая насыщенная окраска венчика) – 185–190 ц/га и 265–275 г, сорта Завіруха (белая окраска венчика) – 180–185 ц/га и 260–270 г соответственно при содержании эфирных масел 0,51, 0,57 и 0,54 %.

Conclusions. Varieties of oregano (*Origanum vulgare* L.) Greta, Aksamit and Zavirukha are characterized by a complex of morphometric, morphological and phenological features, are included in the State Register of varieties of the agricultural plants and are recommended for use in agricultural production and for household cultivation.

The yield of the green mass of oregano of the common variety Greta was 185–190 c/ha with the weight of one plant of 260–280 g, Aksamit – 185–190 c/ha and 265–275 g, the Zavirukha variety – 180–185 c/ha and 260–270 g, respectively, with the content of essential oils of 0.51, 0.57 and 0.54 %.

Библиографический список

1. Егорова Г. С., Климова И. Н., Шиянов К. В., Сухов В. А., Гузенко О. В., Лебедева Л. В., Тибирькова Н. Н., Максимова Н. С. Лекарственные и эфирно-масличные растения. Волгоград: ВГАУ, 2022. 136 с.
2. Сачивко Т. В., Босак В. Н., Наумов М. В. Оценка сортов душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) по основным хозяйственно полезным признакам. Овощеводство. 2019. Т. 27. С. 189–194.
3. Сачивко Т. В., Дуктова Н. А., Порхунцова О. В., Босак В. Н., Цыркунова О. А., Наумов М. В., Блохин А. А. Генетические ресурсы растений. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры. Горки: БГСХА, 2021. 22 с.
4. Богомоллов С. А., Маланкина Е. Л., Козловская Л. Н. Сравнительное изучение некоторых биохимических и морфологических особенностей хемотипов *Origanum vulgare* L. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018. № 2. С. 77–85.
5. Зыкова И. Д., Ефремов А. А. Антирадикальная активность эфирного масла и водно-спиртовых экстрактов *Origanum vulgare* L., произрастающей в Красноярском крае. Химия растительного сырья. 2021. № 1. С. 183–190.
6. Крыжко А. В. Взаимодействие растений и энтомопатогенных бактерий *Bacillus thuringiensis* в агроценозе *Origanum vulgare* L. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 91. С. 174–180.
7. Мягих Е. Ф., Марченко М. П., Новиков И. А. Сравнительный анализ гибридов *Origanum vulgare* L. по комплексу признаков. Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 2 (14). С. 89–95.

8. Сачивко Т. В., Коваленко Н. А., Супиченко Г. Н., Босак В. Н. Антиоксидантная активность новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур. // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2023. Т. 61. № 4. С. 282–290.
9. Сачивко Т. В., Феськова Е. В., Коваленко Н. А., Супиченко Г. Н., Босак В. Н. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры: урожайность и жирнокислотный состав семян. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 4. С. 675–684.
10. Хазиева Ф. М., Коротких И. Н., Осипов В. И. Состав эфирного масла сортов душицы обыкновенной (*Origanum vulgare*) из коллекции ВИЛАР. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2019. Т. 22. № 7. С. 38–49.
11. De-Montijo-Prieto S., Razola-Diaz M. D. C., Gomez-Caravaca A. M., Guerra-Hernandez E. J., Jimenez-Valera M., Garcia-Villanova B., Ruiz-Bravo A., Verardo V. Essential Oils from Fruit and Vegetables, Aromatic Herbs and Spices: Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities. Biology. 2021. V. 10 (11). P. 1091.
12. Lombrea A., Antal D., Ardelean F., Avram S., Pavel I. Z., Vlaia L., Mut A. M., Diaconescu Z., Dehelean C. A., Soica C., Danciu C. A Recent Insight Regarding the Phytochemistry and Bioactivity of *Origanum vulgare* L. Essential Oil. International Journal Molecular Sciences. 2020. Vol. 21 (24). Pp. 1–28.
13. Moghrovyany A., Sahakyan N., Babayan A., Chichoyan N., Petrosyan M., Trchounian A. Essential oil and ethanol extract of oregano (*Origanum vulgare* L.) from Armenian flora as a natural source of terpenes, flavonoids and other phytochemicals with antiradical, antioxidant, metal chelating, tyrosinase inhibitory and antibacterial activity. Current Pharmaceutical Design. 2019. Vol. 25 (16). Pp. 1809–1816.
14. Soltani S., Shakeri A., Iranshahi M., Boozari M. A Review of the Phytochemistry and Antimicrobial Properties of *Origanum vulgare* L. and Subspecies. Iran Journal Pharmaceutical Research. 2021. Vol. 20 (2). Pp. 268–285.
15. Zhao Y., Yang Y.H., Ye M., Wang K. B., Fan L. M., Su F. W. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Origanum vulgare* against *Botrytis cinerea*. Food Chemistry. 2021. Vol. 365 (15). P. 130506.
16. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений. Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. Минск, 2023. 300 с.
17. Сачивко Т. В., Босак В. Н., Гордеева А. П., Наумов М. В. Характеристика и особенности агротехники новых сортов пряно-ароматических культур. Горки: БГСХА, 2019. 19 с.
18. Аутко А. А., Пестис В. Г., Гракун В. В., Азаренко В. В., Коломиец Э. И. Технология возделывания овощных, бахчевых культур, картофеля, пряно-ароматических и лекарственных растений. Минск: Беларуская навука, 2022. 614 с.
19. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность: душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.). Минск, 2023. 12 с.

References

1. Egorova G. S., Klimova I. N., Shiyonov K. V., Sukhov V. A., Guzenko O. V., Lebedeva K. V., Tibir'kova N. N., Maksimova N. S. Medicinal and essential oil plants. Volgograd: VSAU, 2022, 136 p.
2. Sachivko T. V., Bosak V. N., Naumov M. V. Evaluation of varieties of oregano (*Origanum vulgare* L.) by the main economic traits. Vegetable growing. 2019. V. 27. Pp. 189–194.
3. Sachivko T. V., Duktova N. A., Porkhunsova O. V., Bosak V. N., Tsyrukunova O. A., Naumov M. V., Blokhin A. A. Plant genetic resources. Spicy-aromatic and essential-oil plants. Gorki: BSAA, 2021, 22 p.
4. Bogomolov S. A., Malankina E. L., Kozlovskaya L.N. Comparative study of some biochemical and morphological features of *Origanum vulgare* L chemotypes. Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2018. No. 2. Pp. 77–85.
5. Zykova I. D., Efremov A. A. Antiradical activity of essential oil and hydroalcoholic extracts of *Origanum vulgare* L., growing in the Krasnoyarsk region. Chemistry of plant raw materials. 2021. No. 1. Pp. 183–190.
6. Kryzhko A. V. Interaction of plants and entomopathogenic bacteria *Bacillus thuringiensis* in the agrocenosis *Origanum vulgare* L. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2021. No. 91. Pp. 174–180.

7. Myagkikh E. F., Marchenko M. P., Novikov I. A. Comparative analysis of hybrids of *Origanum vulgare* L. by a complex of traits. Taurida Bulletin of Agrarian Science. 2018. No 2 (14). Pp. 89–95.
8. Sachivko T. V., Kovalenko N. A., Supichenko G. N., Bosak V. N. Antioxidant activity of new varieties spicy-aromatic and essential-oil plants. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. 2023. Vol. 61. No. 4. Pp. 282–290.
9. Sachyuka T. V., Feskova A. V., Kovalenko N. A., Supichenko G. N. Bosak V. N. Species, herbs and essential-oil plants: yield and fatty acid composition of seeds. Food Processing: Techniques and Technology. 2022. No 52 (4). Pp. 675–684.
10. Khazieva F. M., Korotkikh I. N., Osipov V. I. Composition of essential oil of oregano varieties (*Origanum vulgare*) from the VILAR collection. Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2019. Vol. 22. No 7. Pp. 38–49.
11. De-Montijo-Prieto S., Razola-Diaz M. D. C., Gomez-Caravaca A. M., Guerra-Hernandez E. J., Jimenez-Valera M., Garcia-Villanova B., Ruiz-Bravo A., Verardo V. Essential Oils from Fruit and Vegetables, Aromatic Herbs and Spices: Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities. Biology. 2021. V. 10 (11). P. 1091.
12. Lombrea A., Antal D., Ardelean F., Avram S., Pavel I. Z., Vlaia L., Mut A. M., Diaconescu Z., Dehelean C. A., Soica C., Danciu C. A Recent Insight Regarding the Phytochemistry and Bioactivity of *Origanum vulgare* L. Essential Oil. International Journal Molecular Sciences. 2020. Vol. 21 (24). Pp. 1–28.
13. Moghrovyanyan A., Sahakyan N., Babayan A., Chichoyan N., Petrosyan M., Trchounian A. Essential oil and ethanol extract of oregano (*Origanum vulgare* L.) from Armenian flora as a natural source of terpenes, flavonoids and other phytochemicals with antiradical, antioxidant, metal chelating, tyrosinase inhibitory and antibacterial activity. Current Pharmaceutical Design. 2019. Vol. 25 (16). Pp. 1809–1816.
14. Soltani S., Shakeri A., Iranshahi M., Boozari M. A Review of the Phytochemistry and Antimicrobial Properties of *Origanum vulgare* L. and Subspecies. Iran Journal Pharmaceutical Research. 2021. Vol. 20 (2). Pp. 268–285.
15. Zhao Y., Yang Y.H., Ye M., Wang K. B., Fan L. M., Su F. W. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Origanum vulgare* against *Botrytis cinerea*. Food Chemistry. 2021. Vol. 365 (15). P. 130506.
16. State register of varieties of the agricultural plants. Minsk, 2023. 300 p.
17. Sachivko T. V., Bosak V. N., Gordeeva A. P., Naumov M. V. Characteristics and features of agricultural techniques of new varieties of spicy-aromatic crops. Gorki: BSAA, 2019, 19 p.
18. Autko A. A., Pestis V. G., Grakun V. V., Azarenko V. V., Kolomiets E. I. Technology of cultivation of vegetable, melon crops, potatoes, spicy-aromatic and medicinal plants. Minsk: Belaruskaya navuka, 2022. 614 p.
19. Method of testing for distinctiveness, uniformity and stability: oregano (*Origanum vulgare* L.). Minsk, 2023. 12 p.

Информация об авторах

Сачивко Татьяна Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, докторант кафедры биологии растений и химии, УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Республика Беларусь, 213407, г. Горки, ул. Мичурина, д. 5), <https://orcid.org/0000-0001-9707-8215>, e-mail: sachyuka@rambler.ru

Босак Виктор Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Республика Беларусь, 213407, г. Горки, ул. Мичурина, д. 5), <https://orcid.org/0000-0001-7197-2315>, e-mail: bosak1@tut.by

Егорова Галина Сергеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой почвоведения и общей экологии, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: egorova.g.s.2022@gmail.com

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, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Лебедева Людмила Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение и общая биология» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID iD: 0009-0007-5522-9012, e-mail: ludm.lebedeva2010@yandex.ru

Author's Information

Sachivko Tatiana Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate professor, Doctorate of the Department of the Plant Biology and Chemistry, Belarusian State Agricultural Academy (Republic of Belarus, 213407, Gorki, Michurina str., 5), <https://orcid.org/0000-0001-9707-8215>, e-mail: sachyuka@rambler.ru

Bosak Viktor Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Life Safety, Belarusian State Agricultural Academy (Republic of Belarus, 213407, Gorki, Michurina str., 5), <https://orcid.org/0000-0001-7197-2315>, e-mail: bosak1@tut.by

Egorova Galina Sergeevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Science and General Biology, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky av., 26), e-mail: egorova.g.s.2022@gmail.com

Ryadnov Alexey 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 (400002, southern Federal district, Volgograd region, Volgograd, 26 Universitetskiy Ave.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Lebedeva Lyudmila Vladimirovna, Assistant Professor at the Department of Soil Science and General Biology, Volgograd State Agrarian University (400002, southern Federal district, Volgograd region, Volgograd, 26 Universitetskiy Ave.), ORCID: 0009-0007-5522-9012, e-mail: ludm.lebedeva2010@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-16

ASSESSMENT OF THE BIOLOGICAL VALUE OF SORGHUM GRAIN PROTEIN OF DIFFERENT VARIETIES

L. F. Syrkina¹, O. N. Antimonova¹, O. A. Malakhova², Y. Y. Nikonorova¹

¹*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

²*Samara State Agrarian University*

Kinel, Samara region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: antimonovaolga@list.ru

Received 21.06.2023

Submitted 20.06.2023

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 experimental data on the assessment of the biological value of the protein of sorghum grain of different varieties. The highest biological value of sorghum grain protein is possessed by the Derzhavnoye variety (72.3%). This variety is the most balanced in amino acid composition compared to other varieties. The biological value of the varieties Slavyanka (70.5%) and Vera (67.5%) is slightly lower. Lower – in the varieties Yelenushka (64.2%) and Kinelskoye 63 (62.7%).

Abstract

Introduction. When creating and evaluating new varieties and hybrids of any agricultural crop, one of the indicators of economically valuable traits is the content and quality of protein in grain, which is used for food purposes and in animal feeding. The content of crude protein in sorghum grain varies between 10.0-

17.0%. Moreover, the sorghum grain protein contains 8 essential and 10 non-essential amino acids, which form the fundamental basis for the metabolism in the body. There are significant differences between cultivars in the amino acid profile in sorghum grain protein. Therefore, the identification of genotypes and the establishment of the nutritional value of sorghum grain of different varieties for human and animal health by analyzing the physicochemical composition of grain and determining the composition of amino acids is an integral part of the breeding process. **Object.** Samples of sorghum grain varieties Slavyanka, Kinelskoe 63, Elenushka, Vera and Derzhavnoe were used as experimental material. **Materials and methods.** The research was carried out in 2018 - 2020 at two scientific bases: the Volga NIISS – a branch of the Sam Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Samara State Agrarian University. The protein content was calculated by the Kjeldahl method. The amino acid composition of the sorghum grain protein was determined by the KAPEL 105M capillary electrophoresis system. **Results and conclusions.** According to the protein content in the grain, the sorghum varieties studied were distributed in the following order from smaller to larger: Kinel'skoe 63 → Elenushka → Vera → Slavyanka → Derzhavnoe. During the research, it was found that 8 essential and 10 interchangeable amino acids were identified in the studied samples of sorghum grain. The amino acid composition of sorghum protein is in a slight deficit from the reference egg protein recommended by FAO/WHO for all varieties: Vera – by 8.8%, Kinel'skoe 63 – 9.8%, Elenushka – 25.5%, Slavyanka – 33.7% and Derzhavnoe – 39.6%. The highest biological value of sorghum grain protein is possessed by the Derzhavnoe variety (72.3%). This variety is the most balanced in amino acid composition compared to other varieties. The biological value of the Slavyanka (70.5%) and Vera (67.5%) varieties is slightly lower. The Elenushka (64.2%) and Kinel'skoe 63 (62.7%) varieties have a lower biological value.

Key words: grain sorghum, *Sorghum bicolor*, reference protein, sorghum grain, biological value of grain protein.

Citation: Syrkina L. F., Antimonova O. N., Malakhova O. A., Nikonorova Yu. Yu. Assessment of the biological value of sorghum grain protein of different varieties. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 159-168. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-16.

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 633.3:174.4

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ БЕЛКА ЗЕРНА СОРГО ЗЕРНОВОГО РАЗНЫХ СОРТОВ

Л. Ф. Сыркина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
О. Н. Антимонова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
О. А. Малахова², кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий ИНИЛ
Ю. Ю. Никонорова¹, младший научный сотрудник

¹Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский
научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова
пгт. Усть-Кинельский, г. Кинель, Самарская обл., Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет»
г. Кинель, Самарская обл., 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. При создании и оценке новых сортов и гибридов любой сельскохозяйственной культуры одним из показателей хозяйственно-ценных признаков является содержание и качество белка в зерне, которое используется на продовольственные цели и в кормлении жи-

вотных. Содержание сырого протеина в зерне сорго варьируется в пределах 10,0-17, 0 %. При этом белок зерна сорго содержит 8 незаменимых и 10 заменимых аминокислот, которые составляют фундаментальную основу для обмена веществ в организме. Существуют значительные различия между сортами по аминокислотному профилю в белке зерна сорго. Поэтому выявление генотипов и установление пищевой ценности зерна сорго разных сортов для здоровья человека и животных путем анализа физико-химического состава зерна и определения состава аминокислот является неотъемлемой частью селекционного процесса. **Объект.** В качестве экспериментального материала использовали образцы зерна сорго зернового сортов Славянка, Кинельское 63, Еленушка, Вера и Державное. **Материалы и методы.** Исследования проводились в 2018 – 2020 годах на двух научных базах: Поволжском НИИСС – филиале СамНЦ РАН и ФГБОУ ВО Самарском ГАУ. Содержание белка вычисляли методом Къельдаля. Аминокислотный состав белка зерна сорго зернового определяли системой капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ 105М». **Результаты и выводы.** По содержанию белка в зерне исследуемые сорта сорго были распределены в следующем порядке от меньшего к большему: Кинельское 63 → Еленушка → Вера → Славянка → Державное. В исследуемых образцах зерна сорго были определены 8 незаменимых и 10 заменимых аминокислот. Аминокислотный состав белка сорго находится в незначительном дефиците от эталонного белка куриного яйца, рекомендованного ФАО/ВОЗ по всем сортам: Вера – на 8,8 %, Кинельское 63 – 9,8 %, Еленушка – 25,5 %, Славянка – 33,7 % и Державное – 39,6 %. Наивысшей биологической ценностью белка зерна сорго зернового обладает сорт Державное (72,3 %). Этот сорт наиболее сбалансирован по аминокислотному составу по сравнению с остальными сортами. Несколько ниже биологическая ценность у сортов Славянка (70,5 %) и Вера (67,5 %). Более низкая биологическая ценность у сортов Еленушка (64,2 %) и Кинельское 63 (62,7 %).

Ключевые слова: сорго зерновое, *Sorghum bicolor*, эталонный белок, зерно сорго, биологическая ценность белка зерна.

Цитирование. Сыркина Л. Ф., Антимонина О. Н., Малахова О. А., Никонорова Ю. Ю. Оценка биологической ценности белка зерна сорго зернового разных сортов. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 159-168. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-16.

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. При создании и оценке новых сортов и гибридов любой сельскохозяйственной культуры одним из показателей хозяйственно-ценных признаков является содержание и качество белка в зерне, которое используется на продовольственные цели и в кормлении животных. Ценность белка в зерне для питания живого организма определена двумя основными параметрами: его сбалансированностью по содержанию незаменимых аминокислот (НАК) и отношению к белковому эталону. Аминокислоты – конечный продукт расщепления белка в пищеварительном тракте. Они играют важную роль в обмене веществ, многие из них служат активаторами ферментов и витаминов [1, 2].

Зерновое сорго в России до сих пор считается нетрадиционной зерновой культурой и остается не полностью использованным ресурсом, хотя по химическому составу и энергетической питательности приравнивается к кукурузе [3] и является ценным кормом для птиц и животных. За рубежом сорго входит в пятерку лучших зерновых культур и является одной из ключевых культур в глобальных усилиях по обеспечению продовольственной безопасности [4]. Содержание сырого протеина в зерне сорго варьируется в пределах 10,0 – 17, 0 %. При этом белок зерна сорго содержит 8 незаменимых и 10 заменимых аминокислот, которые составляют фундаментальную основу для обмена веществ в организме [5-7]. Существуют значительные различия между сортами по аминокислотному профилю в белке зерна сорго. Рос-

сийскими и зарубежными учеными установлены разные уровни аминокислот в белке сорго разных сортов. Лейцин, изолейцин и фенилаланин были обнаружены на более высоких уровнях, лизин и метионин – на более низком, чем другие аминокислоты, в другом случае первой и второй лимитирующими кислотами были метианин и цистин соответственно (Ebadi M. R., 2005) [8-10]. Поэтому выявление генотипов и установление пищевой ценности зерна сорго разных сортов для здоровья человека и животных путем анализа физико-химического состава зерна и определения состава аминокислот является неотъемлемой частью селекционного процесса. Образцы с высоким содержанием белка или содержанием аминокислот и увеличенной доли в них незаменимых аминокислот могут использоваться в программах селекции сорго для повышения питательной ценности зерна.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2018-2020 годах на двух научных базах: Поволжском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиала Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН) и Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарского государственного аграрного университета» (ФГБОУ ВО Самарский ГАУ). Объектом исследования служили оригинальные семена сортов зернового сорго Славянка, Кинельское 63, Еленушка, Вера и Державное. В качестве стандарта использовали сорт Славянка.

Содержание белка вычисляли методом Къельдаля (ГОСТ 10846 – 91). Аминокислотный состав белка зерна сорго зернового определяли системой капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ 105М»: незаменимые аминокислоты – лизин, лейцин и изолейцин (в сумме), метионин, фенилаланин, триптофан, валин, треонин; заменимые – цистин, тирозин, аланин, аргинин, гистидин, глицин, пролин, серин, аспарагин, глутамин (ГОСТ Р 55569 – 2013) [11].

Биологическую ценность белка (БЦ) рассчитывали на основании Рекомендаций по определению биологической ценности белка сельскохозяйственных культур (2005 г.) методом «аминокислотного сора» (scor – счёт, подсчёт), который показывает процентное отношение незаменимых аминокислот (НАК) в белке сорго к их содержанию в «идеальном белке» куриного яйца (эталон, аминокислотная шкала ФАО/ВОЗ).

Расчет «аминокислотного сора» проводили по формуле:

$$\text{Аминокислотный скор} = \frac{\text{мг АК в 1 г исследуемого белка}}{\text{мг АК в 1 г идеального белка}} \times 100 \% \quad (1)$$

Избыточное количество незаменимых аминокислот, не используемых организмом, отражает коэффициент различия аминокислотного сора (КРАС), который рассчитывают по формуле:

$$\text{КРАС} = \frac{\sum_j^N = \Delta \text{РАС}}{n}, \quad (2)$$

где $\Delta \text{РАС}$ – различия аминокислотного сора аминокислоты; n – количество аминокислот.

Величина биологической ценности белка определяется по формуле:

$$\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС},$$

где БЦ – биологическая ценность белка, %.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные данные о содержании белка и его аминокислотного состава в зерне сорго зернового отображены в таблице 1. Содержание белка варьирует в пределах 8,91 (Кинельское 63) – 10,98 % (Державное). По этому показателю исследуемые нами сорта сорго мы распределили в следующем порядке от меньшего к большему: Кинельское 63 → Еленушка → Вера → Славянка → Державное.

Таблица 1 – Содержание белка и его аминокислотный состав в зерне сорго зернового разных сортов, среднее за 2018-2020 гг.

Table 1 – Protein content and its amino acid composition in sorghum grain of different varieties, average 2018-2020

Показатели	Славянка (стандарт)	Кинельское 63	Еленушка	Вера	Державное
Белок, %	10,79	8,91	10,38	10,62	10,98
НСР ₀₅ = 1,14					
Незаменимые аминокислоты, г/кг зерна					
Лизин	1,5	1,7	1,4	2,0	1,1
Треонин	1,6	2,1	1,6	2,6	1,2
Метионин	0,7	1,2	1,0	1,5	0,9
Валин	2,9	3,9	3,0	4,2	2,7
Лейцин + Изолейцин	12,2	13,4	13,6	15,8	11,4
Фенилаланин	3,8	3,2	3,7	4,3	3,1
Триптофан	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1
Сумма	23,2	26,1	25,1	31,4	21,5
Заменимые аминокислоты, г/кг зерна					
Аланин	4,4	6,7	4,4	7,0	3,9
Аргинин	4,8	3,8	5,1	4,8	4,7
Аспарагиновая кислота	6,8	7,2	8,8	8,4	8,7
Гистидин	1,4	1,3	1,1	1,9	9,0
Глицин	2,0	2,9	2,0	2,9	1,8
Глутаминовая кислота	18,7	19,0	25,9	23,2	21,3
Пролин	6,3	6,9	6,0	7,2	6,2
Серин	1,8	2,9	2,0	3,4	1,9
Тирозин	1,7	2,2	2,0	2,3	2,1
Цистеин	0,6	0,5	0,8	0,9	0,8
Сумма	48,5	53,4	58,1	62,0	60,4
Общая сумма аминокислот	71,7	79,5	83,2	93,4	81,9

Но при оценке сортов сорго и полученной из них продукции учитывают не только количественное содержание белка, но и его качество – биологическую ценность, которая напрямую зависит от аминокислотного состава. Особое внимание заслуживают незаменимые аминокислоты, которые не синтезируются организмом и поступают в него только с пищей. В исследуемых образцах зерна сорго были обнаружены и количественно определены 8 незаменимых: Лизин, Треонин, Метионин, Валин, Лейцин + Изолейцин, Фенилаланин, Триптофан и 10 заменимых аминокислот.

Лидирующая позиция по наибольшей сумме всех аминокислот и массовой доле незаменимых аминокислот по отношению ко всем аминокислотам в зерне испытываемых сортов сорго была отмечена у сорта Вера (93,4 г/кг зерна и 33,6 % соответственно).

Анализ содержания и соотношения отдельных незаменимых аминокислот показал, что больше всего в белке сорго у всех сортов таких аминокислот, как лейцин и изолейцин в сумме. На их долю в зерне сорго приходится 11,4 (Державное) – 15,8 (Вера) г/кг зерна, или 53,0 – 50,3 % соответственно от суммы незаменимых аминокислот. При определении аминокислотного состава в белке зачастую проводят суммирование аминокислот (лейцин + изолейцин) вследствие того, что в живом организме происходит трансформация лейцина в изолейцин [12].

Анализ содержания и соотношения отдельных заменимых аминокислот показал, что больше всего в белке сорго у всех сортов таких аминокислот, как аспарагиновая и глутаминовая кислота. На их долю в зерне сорго приходится 7,2 (Кинельское 63) – 8,8 (Еленушка) и 18,7 (Славянка) – 25,9 (Еленушка) г/кг зерна, или 9,1–10,6 % и 26,1 – 31,1 % соответственно от суммы заменимых аминокислот.

В результате сравнительного анализа аминокислотного состава белка зерна сорго с аминокислотной шкалой эталонного белка куриного яйца, рекомендованного ФАО/ВОЗ, было выявлено, что аминокислотный состав белка сорго находится в значительном дефиците по всем сортам: Вера – на 8,8 %, Кинельское 63 – 9,8 %, Еленушка – 25,5 %, Славянка – 33,7 % и Державное – 39,6 % (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание незаменимых аминокислот в белке зерна сорго разных сортов, мг/г белка, среднее 2018-2020 гг.

Table 2 – The content of essential amino acids in the protein of sorghum grain of different varieties, mg / g of protein, average 2018-2020

Аминокислоты	НАК в эталонном белке (ФАО/ВОЗ)	Сорт				
		Славянка (стандарт)	Кинель- ское 63	Еленушка	Вера	Державное
Лизин	55	13,9	19,1	13,5	18,8	10,0
Треонин	40	14,8	23,6	15,4	24,5	10,9
Метионин	24	6,5	13,5	9,6	14,1	8,2
Валин	50	26,9	42,8	28,8	39,5	24,6
Лейцин + Изолейцин	110	112,9	150,5	130,7	148,7	103,8
Фенилаланин	35	35,2	36,0	35,6	40,5	28,2
Триптофан	10	4,6	6,7	7,7	9,4	10,0
Сумма	324,0	214,8	292,2	241,3	295,5	195,7

Наряду с дефицитом незаменимых аминокислот наблюдается их несбалансированность по всем сортам. Избыточное количество незаменимой аминокислоты лейцин + изолейцин относительно эталонного белка отмечается у сортов Славянка (на 2,9 мг/г белка), Кинельское 63 (40,5 мг/г белка), Еленушка (20,7 мг/г белка) и Вера (на 38,7мг/г белка). На их долю, в зависимости от сорта, приходится 102,6 – 136,8 % от эталонного белка.

Метод аминокислотного сгора позволяет оценить не только соответствие незаменимых аминокислот к эталонному белку куриного яйца, но и выяснить степень их сбалансированности по наличию лимитирующих аминокислот (таблица 3).

Исследования показали, что первой лимитирующей незаменимой аминокислотой у всех сортов сорго зернового является лизин у всех сортов: Славянка (АКС – 25,3 %), Кинельское 63 (АКС – 34,7 %), Еленушка (АКС – 24,5 %), Вера (АКС – 34,2 %), Державное (АКС – 18,2 %).

Второй лимитирующей незаменимой аминокислотой у сортов Славянка, Кинельское 63 и Еленушка является метионин (АКС – 27,1, 56,3 и 40,0 % соответственно), у сортов Вера и Державное – фенилаланин (АКС – 36,8 и 25,6 %). Третья лимитирующая

щая незаменимая аминокислота у сортов Славянка, Кинельское 63 и Державное – треонин (АКС – 37,0, 59,0 и 27,3 % соответственно), у сортов Еленушка и Вера – метионин (АКС – 40,0 и 58,8 %).

Таблица 3 – Биологическая ценность белка зерна сорго зернового разных сортов, среднее 2018-2020 гг.

Table 3 – Biological value of protein of sorghum grain of different varieties, average 2018-2020

НАК	Сорт									
	Славянка (стандарт)		Кинельское 63		Еленушка		Вера		Державное	
	АКС, %	ΔРАС	АКС, %	ΔРАС	АКС, %	ΔРАС	АКС, %	ΔРАС	АКС, %	ΔРАС
Лизин	25,3*	0	34,7*	0	24,5*	0	34,2*	0	18,2*	0
Треонин	37,0	11,7	59,0	24,3	38,5	14,0	61,3	27,1	27,3	9,1
Метионин	27,1	1,8	56,3	21,6	40,0	15,5	58,8	24,6	34,2	16,0
Валин	53,8	28,5	85,6	50,9	57,6	33,1	79,0	44,8	49,2	31,0
Лейцин + Изолейцин	102,6	77,3	136,8	102,1	118,8	94,3	135,2	101,0	94,4	76,2
Фенилаланин	100,6	75,3	102,9	67,4	101,7	77,2	36,8	2,6	25,6	7,4
Триптофан	67,0	41,7	67,0	32,3	77,0	52,5	94,0	59,8	100,0	81,7
ΣΔРАС	-	236,3	-	298,6	-	286,6	-	259,9	-	221,4
КРАС	-	29,5	-	37,3	-	35,8	-	32,5	-	27,7
БЦ белка	-	70,5	-	62,7	-	64,2	-	67,5	-	72,3

* – первая лимитирующая незаменимая аминокислота

Отклонение аминокислотного сора незаменимой аминокислоты от 100 % как в меньшую, так и в большую сторону, является нежелательным в связи с невозможностью использования ее организмом в полной мере. Только в одном сорте Державное аминокислотный скор триптофана относится к «идеальному белку».

Поэтому, для оценки биологической ценности белков используют коэффициент различия аминокислотного сора (КРАС). Чем этот показатель меньше, тем больше биологическая ценность и выше качество белка. В связи с полученными исследованиями установлено, что из-за нарушения количественного соотношения незаменимых аминокислот по отношению к эталону, КРАС белка зерна сорта Славянка составляет 29,5 %, Кинельское 63 – 37,3 %, Еленушка – 35,8 %, Вера – 32,5 % и Державное – 27,7 %.

С учетом коэффициента аминокислотного сора результаты исследований показывают, что наивысшей биологической ценностью белка зерна сорго зернового обладает сорт Державное (72,3 %). Этот сорт наиболее сбалансирован по аминокислотному составу по сравнению с остальными сортами. Несколько ниже биологическая ценность у сортов Славянка (70,5 %) и Вера (67,5 %). Более низкая биологическая ценность у сортов Еленушка (64,2 %) и Кинельское 63 (62,7 %).

Выводы. По содержанию белка в зерне исследуемые сорта сорго были распределены в следующем порядке от меньшего к большему: Кинельское 63 → Еленушка → Вера → Славянка → Державное.

В ходе исследований установлено, что в исследуемых образцах зерна сорго были определены 8 незаменимых и 10 заменимых аминокислот. Аминокислотный состав белка сорго находится в незначительном дефиците от эталонного белка куриного яйца, рекомендованного ФАО/ВОЗ по всем сортам: Вера – на 8,8 %, Кинельское 63 – 9,8 %, Еленушка – 25,5 %, Славянка – 33,7 % и Державное – 39,6 %.

Наивысшей биологической ценностью белка зерна сорго зернового обладает сорт Державное (72,3 %). Этот сорт наиболее сбалансирован по аминокислотному составу по сравнению с остальными сортами. Несколько ниже биологическая ценность у сортов Славянка (70,5 %) и Вера (67,5 %). Более низкая биологическая ценность у сортов Еленушка (64,2 %) и Кинельское 63 (62,7 %).

Conclusions. According to the protein content in the grain, the sorghum varieties studied were distributed in the following order from smaller to larger: Kinel'skoe 63 → Elenushka → Vera → Slavyanka → Derzhavnoe.

During the research, it was found that 8 essential and 10 interchangeable amino acids were identified in the studied samples of sorghum grain. The amino acid composition of sorghum protein is in a slight deficit from the reference egg protein recommended by FAO/WHO for all varieties: Vera – by 8.8%, Kinel'skoe 63 – 9.8%, Elenushka – 25.5%, Slavyanka – 33.7% and Derzhavnoe – 39.6%.

The highest biological value of sorghum grain protein is possessed by the Derzhavnoe variety (72.3%). This variety is the most balanced in amino acid composition compared to other varieties. The biological value of the Slavyanka (70.5%) and Vera (67.5%) varieties is slightly lower. The Elenushka (64.2%) and Kinel'skoe 63 (62.7%) varieties have a lower biological value.

Библиографический список

1. Николаев С. И., Карапетян А. К., Плешакова И. Г., Струк М. В. Сравнительный химический состав и питательная ценность зерна кукурузы и сорго. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 293-302.
2. Isticioaia S.-F., Leonte A., Popa L.-D. et. al. Sorghum bicolor (L.) Moench. Plant for the future in Moldavia agriculture (Romania) and for the human nutrition: 9th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development. 2020. V. 180.
3. Кабылда А. И., Мыктабаева А. С., Серикбай Г. С. и др. Изучение аминокислотного состава различных видов безглютеновой муки. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 153-161.
4. Ciampitti I. A., Prasad P. V. Sorghum: State of the Art and Future Perspectives. Agriculture & Ecology. 2020. 528 p.
5. Hassan S. M. Nutritional, Functional and Bioactive Properties of Sorghum (Sorghum Bicolor I. Moench) with its Future Outlooks: Nutr Food Sci. 2023. № 5 (1). V. 1030. Pp. 15-20.
6. 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.
7. Сыркина Л. Ф., Косых Л. А., Антимонов А. К., АнтимONOва О. Н. Новый раннеспелый сорт сорго зернового Державное. Зерновое хозяйство России. 2020. № 3 (69). С. 58-60.
8. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Оценка исходного материала и наследование хозяйственно ценных признаков зернового сорго. Известия Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2019. № 3 (77). С. 83-86.
9. Mofokeng M. A., Shimelis B. H., Tongoona P., Laing M. D. Protein content and amino acid composition among selected South African sorghum genotypes. Food Chem. Nutr. 2018. No 06 (01). Pp. 1-12.
10. Алабушев А. В., Ковтунов В. В., Костылев П. И., Ковтунова Н. А., Кравченко Н. С. Особенности наследования лизина у гибридов второго поколения зернового сорго. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 3. С. 273-282.
11. Езерская А. А., Пивовар М. Л. Капиллярный электрофорез: основные принципы, применение в фармацевтическом анализе. Вестник фармации. 2019. № 1 (83). С. 35-44.
12. Ломова В. В., Сенова О. Д., Былкова А. Р. Химия пищи: белки, жиры и углеводы. Научные исследования молодых учёных: материалы XXI междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Пенза, 2022. С. 17-20.

References

1. Nikolaev S. I., Karapetyan A. K., Pleshakova I. G., Struk M. V. Comparative chemical composition and nutritional value of corn and sorghum grains. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. № 2 (50). Pp. 293-302.

2. Isticioaia S.-F., Leonte A., Popa L.-D. et. al. Sorghum bicolor (L.) Moench. Plant for the future in Moldavia agriculture (Romania) and for the human nutrition: 9th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development. 2020. V. 180.
3. Kabylda A. I., Myktaeva A. S., Serikbai G. S., etc. Study of the amino acid composition of various types of gluten-free flour. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. № 3 (67). Pp. 153-161.
4. Ciampitti I. A., Prasad P. V. Sorghum: State of the Art and Future Perspectives. Agriculture & Ecology. 2020. 528 p.
5. Hassan S. M. Nutritional, Functional and Bioactive Properties of Sorghum (Sorghum Bicolor I. Moench) with its Future Outlooks: Nutr Food Sci. 2023. № 5 (1). V. 1030. Pp. 15-20.
6. 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.
7. Syrkin L. F., Kosykh L. A., Antimonov A. K., Antimonova O. N. The new early ripe variety of grain sorghum Derzhavnoye. Grain industry of Russia. 2020. № 3 (69). Pp. 58-60.
8. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Assessment of the source material and inheritance of economically valuable signs of grain sorghum. News of the Orenburg State. Agrarian University. 2019. № 3 (77). Pp. 83-86.
9. Mofokeng M. A., Shimelis B. H., Tongona P., Laing M. D. Protein content and amino acid composition among selected South African sorghum genotypes. Food Chem. Nutr. 2018. No 06 (01). Pp. 01-12.
10. Alabushev A. V., Kovtunov V. V., Kostylev P. I., Kovtunova N. A., Kravcheko N. S. Features of lysine inheritance in hybrids of the second generation of grain sorghum. Euro-Northeast agrarian science. 2020. V. 21. № 3. Pp. 273-282.
11. Jezerskaya A. A., Pivovarov M. L. Capillary electrophoresis: basic principles, application in pharmaceutical analysis. Bulletin of Pharmacy. 2019. № 1 (83). Pp. 35-44.
12. Lomova V. V., Senova O. D., Bylkova A. R. Food chemistry: proteins, fats and carbohydrates. Scientific research of young scientists: materials of the XXI international. Scientific - prakt. conf. young scientists and specialists. Penza, 2022. Pp. 17-20.

Информация об авторах

Сыркина Любовь Федоровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. 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

Антимонова Ольга Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. 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

Малахова Олеся Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий испытательной научно-исследовательской лабораторией ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 1), e-mail: teselkina1986@mail.ru

Никонорова Юлия Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернофуражных культур Поволжского научно – исследовательского института селекции и семеноводства им. 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: yuliya_zinkova12@mail.ru

Author's Information

Syrkina Lyubov Fedorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Selection and Seed Production of Cereal and Sorghum Crops, 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 (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky, st. Shosseinaya, 76), e-mail: L.syrkina.05@mail.ru.

Antimonova Olga Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Breeding and Seed Production of Cereal and Sorghum Crops, Volga Research Institute of Breeding 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 (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky, st. Shosseinaya, 76), e-mail: antimonovaolga@list.ru.

Malakhova Olesya Anatolyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Test Research Laboratory of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Agrarian University" (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky village, ul. School, 1), e-mail: teselkina1986@mail.ru.

Nikonorova Yulia Yurievna, Junior Researcher, Laboratory of Selection and Seed Production of Grain Crops, Volga Research Institute of Selection and Seed Production named after P. N. Konstantinov – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, village. Ust-Kinelsky, Shosseinaya St. 76), e-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-17

GROWTH AND LONGEVITY OF SQUAT ELM ON HETEROGENEOUS ECOTOPES OF WESTERN CASPIAN SANDS

G. A. Surkhaev, G. M. Surkhaeva

*Federal Scientific Center of agroecology, integrated land reclamation and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: gasan2255@mail.ru

Received 28.08.2023

Submitted 08.11.2023

The work was carried out on the topic of state task No. 122020100309-0 "Theoretical foundations, basic principles and technologies for improving the effectiveness of protective afforestation and complex phytomelioration on degraded, disturbed and low-productive lands of the arid zone of Russia"

Abstract

Introduction. The relevance of the work is justified by the need to expand the assessment of the influence of edaphic factors of low-yielding soils on the reclamation state of protective stands. **Objects** of research are different-age, pasture-protective elm plantations at the experimental landfill of the NCF of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Bazhigansky and Tersk massifs). **Materials and methods.** The research was carried out on trial areas (polygons) of modal elm stands, using generally accepted methodological developments and the author's scale of forest productivity of sand ecotopes. **Results and conclusions** were obtained based on the results of studying the growth and longevity of squat elm crops in different forest-growing conditions of long-term experience of forest reclamation of the sands of the Western Caspian Sea, where the ecological aspects of the influence of soil and soil conditions on the forestry and taxation parameters of the formation of ZLN, allowed us to clarify the degree of ranking of the biomeliorative potential of afforestation of crops on heterogeneous ecotopes of the sands of the arid region.

Key words: pasture-protecting plantings, tree taxation, growth of stands, ecotopes of sands, phytomelioration of pastures, elm culture.

Citation: Surkhaev G. A., Surkhaeva G. M. Growth and longevity of squat elm on heterogeneous Ecotopes of Western Caspian sands. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 168-176 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-17.

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

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

УДК 630-161.03

РОСТ И ДОЛГОЛЕТИЕ ВЯЗА ПРИЗЕМИСТОГО НА НЕОДНОРОДНЫХ ЭКОТОПАХ ПЕСКОВ ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ

Г. А. Сурхаев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Г. М. Сурхаева, научный сотрудник

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

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания №122020100309-0
«Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности
защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных,
нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России»

Актуальность. Актуальность работы обоснована необходимостью расширения оценки влияния эдафических факторов низкопродуктивных почв аридного региона на мелиоративное состояние защитных древостоев. **Объекты** исследований – разновозрастные, пастбищезащитные насаждения вяза на экспериментальном полигоне СКФ ФНЦ АГРОЭКОЛОГИИ РАН (Бажиганский и Терский массивы). **Материалы и методы.** Исследования проводились на пробных площадях (полигонах) модальных древостоев вяза, с использованием общепринятых методических разработок и авторской шкалы лесопроductивности экотопов песков. **Результаты и выводы** получены по итогам изучения роста и долголетия культур вяза приземистого в разных лесорастительных условиях многолетнего опыта лесомелиорации песков Западного Прикаспия, где экологические аспекты влияния почвенно-грунтовых условий на лесоводственно-таксационные параметры формирования ЗЛН позволили уточнить оценку ранжирования биомелиоративного потенциала лесоразведения культуры на неоднородных экотопах песков аридного региона.

Ключевые слова: пастбищезащитные насаждения, таксация деревьев, рост древостоев, экотопы песков, фитомелиорация пастбищ, культура вяза.

Цитирование. Сурхаев Г. А., Сурхаева Г. М. Рост и долголетие вяза приземистого на неоднородных экотопах песков Западного Прикаспия. *Известия НВ АУК.* 2023. 168-176. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-17.

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. На территории Западного Прикаспия, в междуречье Терека и Кумы, значительную часть (около 1 млн. га.) занимают пески и песчаные земли, ставшие с начала прошлого века объектом активного лесомелиоративного обустройства деградированных земель региона [5, 8, 12].

В защитном лесоразведении аридной территории вяз приземистый (*Ulmus pumila*) наравне с другими натурализованными культурами (тополь черный гибридный, робиния псевдоакация, дуб летний, джугун безлистный, лох узколистный и др) явля-

ется одной из основных пород – мелиорантов песков междуречья [4, 7, 11]. Но широкое участие культуры в создании разнотипных ЗЛН (полезащитные, пастбищезащитные, куртинные и др.) происходит уже в советское время (50-80-е годы 20 века) лесомелиорации Западного Прикаспия [2, 3]. В ходе его реализации площадь защитных насаждений вяза, созданных в разных почвенно-грунтовых условиях междуречья, достигла более 600 га, из них на песках экспериментального полигона Ачикулакской НИЛОС почти 250га (Бажиганский и Терский массивы) [9].

Цель работы. Работа имеет цель расширения оценки лесоводственного состояния и долголетия искусственных древостоев вяза на неоднородных экотопах малосвязных песчаных почв Бажиганского и Терского массивов песков аридной экосистемы Западного Прикаспия.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились на пробных площадях (полигонах) модальных насаждений вяза, с использованием общепринятых методических разработок [1, 10] и авторской шкалы лесопродуктивности экотопов песков по эдафическим факторам:

Э 1 – продуктивный экотоп (гумус 0.5-1.0 %, УГВ 3.0-6.0 м, МГВ до 5.0 г/л);

Э 2 – среднепродуктивный экотоп (гумус 0.1-0.5%, УГВ 6.1-9.0 м, МГВ 5.1-10.0 г/л);

Э 3 – низкопродуктивный экотоп (гумус до 0.1%, УГВ 9.1-12м, МГВ 10.1-15 г/л)

Объекты НИР – разновозрастные защитные насаждения вяза приземистого на Бажиганском (3 объекта) и Терском (один объект) массивах песков экспериментального полигона опытной станции, характеризуются значительной мозаичностью эдафических условий рыхлых песчаных отложений, присущих преобладающей части территории Западного Прикаспия.

Объекты искусственных лесонасаждений вяза на Бажиганском массиве междуречья занимают три разных экотопа песков (Э-1, Э-2 и Э-3), которые находятся в системе пастбищезащитных ЗЛН, созданной в 1983 году в целях фитомелиорации деградированных пастбищных угодий (700га). А на Терском массиве (Иргаклинская дача) исследуемый объект лесонасаждений на продуктивном экотопе (Э-1) создавался в период активного облесения открытых песков Теркумья (50-е годы прошлого века) в районе степного животноводства (овцеводство) региона.

Характеристика объектов. **Объект № 1** – это пастбищезащитное насаждение на участке многофазных, связно-супесчаных почв, с ограниченно-доступными для культуры вяза грунтовыми водами (*экотоп 2*) по глубине залегания (6.4 м) и степени минерализации (14.8 г/л). Насаждение узкополосное, 4-х рядное, с проектной посадкой 2500 семян вяза. В год посадки приживаемость ЗЛН – 67.1%, но спустя 39 лет сохранность культур снизилась до 25%, с общим числом деревьев – 612 шт/га, из которых 42 ствола классифицируются уже усохшими. Под просветами полога древостоя весной на перегнойном слое (5-6 см) листового опада деревьев наблюдается редкая эфемерная растительность до наступления летней жары.

Объект № 2. На нем почвенно-грунтовые условия характеризуются относительно высоким плодородием (гумус – 0.9%) связно-супесчаных отложений и доступными для культуры вяза грунтовыми водами по глубине залегания (5.2 м) и степени минерализации (7.6 г/л) для формирования продуктивного экотопа (Э-1) лесоразведения на песках. Насаждение ветроломное, узкополосное (16м), созданное плотной посадкой семян (2500 шт/га) в целях пастбищного окультуривания и ветрозащиты участка полового-бугристых, заросших песков, где сейчас сохранность древостоя не превышает 28%, по причине отпада семян по буграм, в местах активной дефляции песка, и потрав животными в начальный период роста ЗЛН.

Объект № 3 занимает низкопродуктивный экотоп песков (Э-3), представлен пастбищезащитным насаждением, имеющим схожие с предыдущими объектами лесоводственные параметры формирования (конструкция, рядность, число посадочных мест), но на момент исследования на единице площади (га) количественная сохранность составляет 524 дерева, из которых полностью усохшие – 41 ствол (8%). Древостой имеет невысокие (8.5 м) и нетолстые (16.1 см) стволы деревьев и на преобладающей части (около 60%) имеет сильно изреженное и угнетенное состояние (балл – 2,3) по причине слабой доступности глубоко залегающих (9.2 м) и сильно засоленных (24.6 г/л) грунтовых вод в данных эдафических условиях. А под кронами деревьев, на неглубоком перегнойном слое (2-3 см), весной появляются, а в начале лета усыхают редкие эфемерные растения.

Объект № 4 исследуемых ЗЛН, занимающий продуктивный экотоп песков (Э-1) на Терском массиве, отличается довольно благоприятными почвенно-грунтовыми условиями (гумус – 1.2%, УГВ – 2.8 м и МГВ – 1.7 г/л) для куртинного насаждения, созданного в активный период лесомелиоративных работ (50-е годы 20 века) на Терско-Кумских песках. Оно наиболее возрастное (57 лет) из исследуемых объектов ЗЛН и сейчас пребывает в стадии угнетения и массовой суховершинности (балл состояния – 3,2) деревьев (таблица 1).

Таблица 1 – Интегральная оценка состояния объектов ЗЛН
Table 1 – Integral assessment of the state of objects of protective forest plantations

Эко топ	Возраст лет	Лесоводственная характеристика ЗЛН				Эдафические условия экотопов			Балл состояния
		h, м	d, см	бонитет	запас м ³ /га	УГВ,м	МГВ г/л	% физ. глины	
Э-2	39	12.5	19.3	3	124	6.4	14.8	7.8	1.8
Э-1	39	14.7	23.6	3	152	5.2	7.6	11.7	1.6
Э-3	39	8.5	16.1	4	61	8.3	24.6	7.2	2.3
Э-1	56	16.6	34.4	4	137	2.8	1.7	12.3	3.4

Результаты и обсуждение. По данным натурных исследований на пробных площадях модальных насаждений вяза составлена многофакторная эколого-лесоводственная оценка состояния (таблица 2).

Таблица 2 – Лесоводственно–таксационная оценка
пастбищезащитных ЗЛН вяза на Бажиганском и Терском массивах песков

Table 2 – Forestry and taxation assessment of pasture
protective elm trees on the Bazhigan and Tersk sand massifs

Экотоп	Высота м	Диаметр см	Полнота	Бонитет	Запас, м ³ /га	Zcp.h, см	Zcp.d мм
Бажиганский массив							
Э-1	14.7	23.6	0.7	3	152	37.7	6.1
Э-2	12.5	19.3	0.6	3	124	31.2	4.9
Э-3	8.5	16.1	0.6	4	62	21.8	4.1
Терский массив							
Э-1	16.5	34.4	0.6	3	137	29.4	6.2

По приведенным данным, у вяза на продуктивном экотопе песков (Э-1) линейный прирост почти вдвое, а радиальный на треть выше соответствующих показателей древостоя в худших эдафических условиях лесоразведения (Э-3). И поэтому здесь неблагоприятные абиотические факторы служат катализатором раннего ослабления, угнетения и усыхания деревьев, о чем свидетельствует оценка их жизнеспособного состояния на объектах ЗЛН (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка дифференциации биологического состояния вяза в древостоях на разных экотопах песков

Table 3 – Differentiation of the biological state of elm stands on different ecotopes of sands

Экотоп	Параметры древостоя		Уровень жизнеспособности деревьев шт./га				
	схема посадки	кол-во деревьев	1	2	3	4	5
	Бажиганский массив						
Э-2	4.0 * 1.0	612	341	128	72	44	27
Э-1	-//-	704	489	98	63	35	19
Э-3	-//-	524	174	167	73	68	42
Терский массив							
Э-1	5.0 – 2.5*1.5	487	78	42	146	168	53

1 – здоровые; 2 – ослабленные; 3 – угнетенные; 4 – суховершинные; 5 – усохшие.

Объекты лесонасаждений разнятся мелиоративной целью создания. На Терском массиве широкополосные древостои формировались в ходе массивного облесения дефлируемых песков для улучшения экологической ситуации в районе пастбищного животноводства, а на Бажиганском массиве узкополосные ЗЛН создавались не только с необходимостью противодефляционной защиты, но и с целью придания зоокомфортных условий пастбищным фитоценозам. Отсюда и несхожесть технологических приемов их закладки (схема, рядность и ширина посадки) и состояния объектов ЗЛН на разных экотопах песков (таблица 4).

Таблица 4 – Лесомелиоративное состояние пастбищезащитных насаждений вяза

Table 4 – Forest reclamation status of elm pasture protection plantings

Возраст лет	Тип ЗЛН	Приживаемость		Сохранность		Ширина посадки, м	Число рядов	Средний балл состояния
		%	дер. шт./га	%	дер. шт./га			
Бажиганский массив								
39	зоомелиоративный	67.1	1675	24.5	612	16	4	1.8
39	-//-	75.3	1875	28.2	704	16	4	1.6
39	-//-	61.2	1525	21.1	524	16	3	2.3
Терский массив								
56	массивно-куртинный	69.4	1331	32.1	487	40	13	3.4

По данным исследований древостоев прослеживается прямая корреляция таксационных показателей (высота, диаметр, запас) с почвенно-грунтовыми условиями (мех. состав, УГВ, МГВ) на экотопах их создания. Так, на низкопродуктивном экотопе песков (Э-3) Бажиганского массива достигнутые древостоем к 39 годам показатели роста в высоту и по диаметру по сравнению с одновозрастным насаждением вяза на продуктивном экотопе песков ниже соответственно на 42 и 32 %. А у более возрастных (56 лет) культур вяза (п. п. – 4) на продуктивном экотопе (Э-1) песков Терского массива (Э-1) линейный и радиальный рост деревьев почти вдвое выше (рисунок 1).

Известно, что дендрохронология древостоев основана на анализе линейного и радиального роста деревьев в онтогенезе развития [6]. По приросту ранней и поздней древесины вяза на пробных площадях ЗЛН прослеживается общая закономерность отложения годовичного камбиального слоя, в котором толщина годовичного кольца больше летне-осеннего на 62-78%, а не наоборот, как, к примеру, у культур сосны здесь на Тер-

ско-Куских песках. А еще на объектах ЗЛН Бажиганского массива продолжительность кульминации радиального прироста (16-25 лет) оказалась на 5 лет ниже, чем у древостоя на более продуктивном экотопе песков Терского массива (таблица 5).

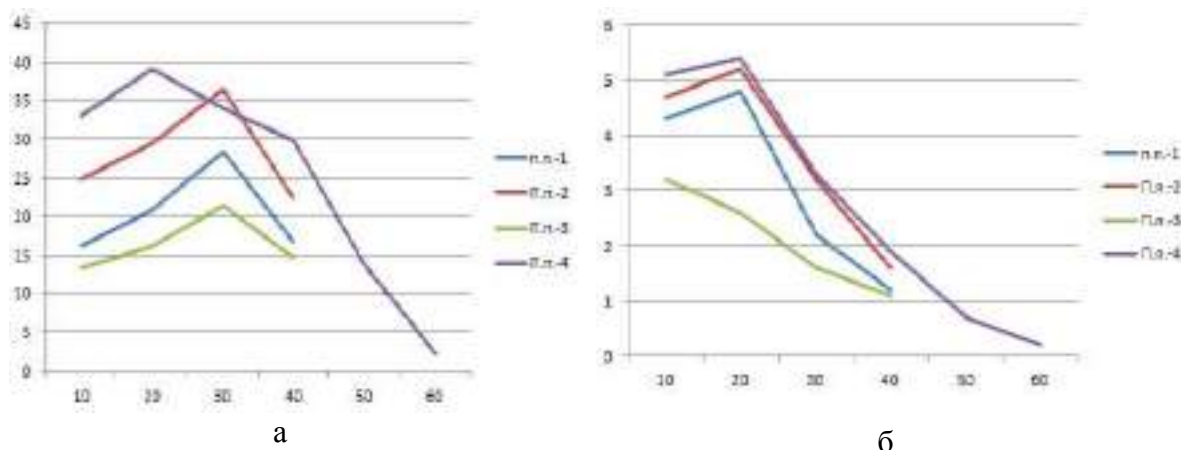


Рисунок 1 – Линейный (а) и радиальный (б) ход роста древостоев вяза приземистого на неоднородных экотопах песков

Figure 1 – Linear (a) and radial (b) growth of stands of squat elm on heterogeneous ecotopes of sands

Таблица 5 – Текущий периодический прирост ранней (1) и поздней (2) древесины вяза приземистого на пробных площадях

Table 5 – Current periodic growth of early (1) and late (2) squat elm wood on trial areas

Возрастной период, лет	П.п.-1		П.п.-2		П.п.-3		П.п.-4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1-5	3.6	7.6	4.0	7.1	2.6	6.7	5.4	10.7
6-10	4.3	7.5	5.3	11.2	2.7	5.8	6.1	10.8
11-15	3.8	7.6	5.5	10.8	2.8	6.6	6.2	12.1
16-20	4.4	10.0	5.9	11.4	2.9	7.6	7.5	15.3
21-25	4.4	9.6	5.8	12.2	3.9	8.9	5.9	11.2
26-30	2.9	5.9	4.3	9.3	3.1	6.8	5.9	10.9
31-35	3.0	4.0	3.7	5.9	2.6	6.1	5.5	10.1
36-40	2.2	3.3	3.1	5.0	2.5	5.8	5.1	9.1
41-45							2.7	5.1
51-55							2.1	3.8
56-60							1.4	2.9

древесина: 1 – ранняя; 2 – поздняя

Во многом уровень влагообеспеченности территории осадками оказывает определяющее влияние на ход ростовых процессов древостоев, и это вполне согласуется с полученными данными древесно-кольцевой хронологии модельных деревьев вяза на изучаемых объектах ЗЛН. В ней в период с выраженным максимумом прироста (14 лет) стволов (объекты № 1, 2, 3) годовая сумма осадков выше многолетней нормы в 1.2-2.3 раза. Анализ показывает, что годы экспрессии и депрессии роста вяза тесно синхронизируют с режимом активности годовых осадков. Так, за меньшее число лет периода максимума (*max*) осадков было больше, чем за сравнимый, более продолжительный по времени (25 лет) период минимума (*min*) их выпадения, по годам и поэтому радиальный прирост модельных деревьев вяза на пробных площадях одновозрастных лесонасаждений, в период *max*, выше на 59-64%. (рисунок 2).

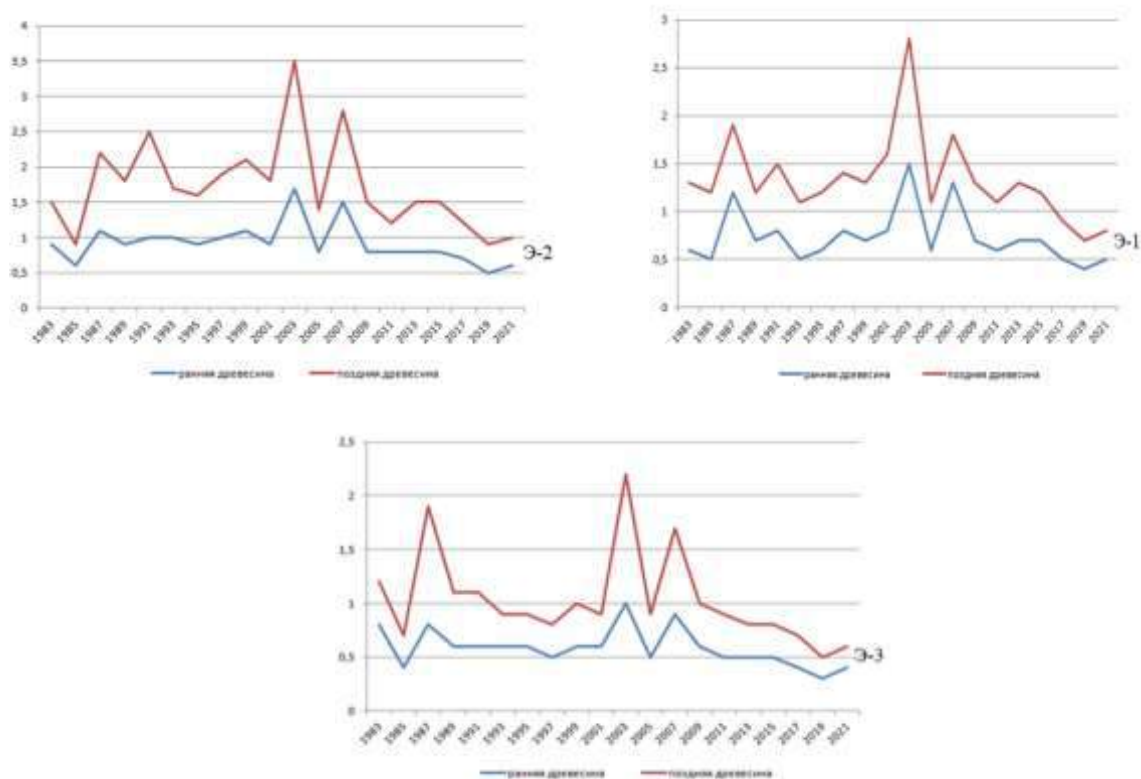


Рисунок 2 –Динамика радиального прироста ранней (1) и поздней (2) древесины модельных деревьев вяза на разных экотопах песков (Бажиганский массив)

Figure 2 – Dynamics of radial growth of early (1) and late (2) wood of model elm trees on different ecotopes of sands

Выводы. Результаты исследований защитных насаждений вяза на разных экотопах песков позволили оценить их лесоводственное состояние, линейный и радиальный рост деревьев в связи с экологическими аспектами произрастания, которые у насаждения на продуктивном экотопе (Э-1) в 1.6 – 2.1 раза выше, по сравнению с ЗЛН на низкопродуктивном экотопе (Э-3), а между ними промежуточный уровень развития занимает древостой в средних эдафических условиях произрастания (Э-2).

Они дают возможность расширить оценку биоэкологического потенциала культуры вяза в лесомелиорации на неоднородных экотопах песчаных почв аридного региона.

Conclusions. The results of studies of protective stands of elm on different ecotops of sands allowed us to assess their forestry condition, linear and radial growth of trees in connection with ecological aspects of growth and to clarify the potential of afforestation of crops according to taxation indicators, which are 1.6 – 2-2.1 times higher for plantations on productive ecotop (E-1) compared to low-productivity ecotop (E-3), and between them, an intermediate level of development is occupied by a stand in medium edaphic growing conditions (E-2).

They make it possible to expand the assessment of the bioecological potential of elm culture in the forest reclamation of heterogeneous ecotops of sandy soils of the arid region.

Библиографический список

1. Бенькова А. В., Тарасова В. В., Шишкин А. В. Применение дендрохронологического метода для изучения особенностей роста естественных и искусственных лесных насаждений. Лесоведение. 2006. № 2. С. 3–8.
2. Ерусалимский В. И., Рожков В. А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2017. № 88. С. 121-137.
3. Завьялов А. А., Иозус А. П. Некоторые итоги селекции вяза в сухой степи юго-востока европейской территории России. Междунар. журн. приклад. и фундамент. исслед. 2019. № 3. С. 66-70.

4. Лепеско В. В., Рыбашлыкова Л. П. Современное состояние, устойчивость и долговечность искусственных насаждений вяза мелколистного в различных лесорастительных условиях Астраханского Заволжья. Природообустройство. 2019. № 5. С. 118–124.
5. Манаенков А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е изд., перераб. и доп. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 428 с.
6. Пинаевская Е. А. Влияние климатических параметров на формирование радиального прироста сосны на северной границе ареала Европейского севера России. Вестник КрасГАУ. 2018. № 2. С. 208–214.
7. Сурхаев И. Г. Особенности формирования вегетативных древостоев *Robinia pseudoacacia* на Терско-Кумских песках. Лесной вестник. 2018. № 6. С. 144–151.
8. Сурхаев Г. А., Сурхаев И. Г., Кулик К. Н., Стародубцева Г. П. Опыт лесомелиорации экосистем песчаных массивов Терско-Кумского междуречья. Экосистемы. Экология и динамика. 2019. Т. 3. № 4. С. 5–23.
9. Сурхаев Г. А., Сурхаева Г. М. Эколого-биологические аспекты формирования пастбищезащитных насаждений вяза в фитомелиорации Западного Прикаспия. Научно-агрономический журнал. 2022. № 4. С. 44–49.
10. Тишин Д. В., Чижикова Н. В. Дендрохронология: учебно-методическое пособие. Казань, 2018. С. 34.
11. Lepesko V. V., Belyaev A. I., Pleskachev Yu. N., Pugacheva A. M., Rybashlykova L. P., Fomin S. D. Monitoring the state and ecological ameliorative effect of tree and shrub coulisse and row plantings on pastures in the arid conditions of the northern Caspian. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341.
12. Sapanov M. K. Environmental Implications of Climate Warming for the Northern Caspian Region. Arid Ecosystems. 2018. Vol. 8. Iss. 1. Pp. 13–21.

References

1. Benkova A. V., Tarasova V. V., Shishkin A. V. Application of the dendrochronological method for studying the growth features of natural and artificial forest plantations. Forest science. 2006. No 2. Pp. 3–8.
2. Yerusalimsky V. I., Rozhkov V. A. Multifunctional role of protective forest plantations. Bulletin of the V. V. Dokuchaev Soil Institute. 2017. No 88. Pp. 121–137.
3. Zavyalov A. A., Iozus A. P. Some results of elm breeding in the dry steppe of the south-east of the European territory of Russia. International Journal of Applied and Basic Research. 2019. No 3. Pp. 66–70.
4. Lepesko V. V., Rybashlykova L. P. The current state, stability and durability of artificial stands of small-leaved elm in various forest growing conditions of the Astrakhan Volga region. Nature management. 2019. No 5. Pp. 118–124.
5. Manaenkov A. S. Forest reclamation of arid zone arenas. 2nd ed., reprint. and add. Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2018. 428 p.
6. Inaevskaya E. A. Influence of climatic parameters on the formation of radial growth of pine on the northern border of the area of the European North of Russia. Bulletin of KrasGAU. 2018. No 2. Pp. 208–214.
7. Surgaev I. G. The study of genetic features of *Robinia pseudoacacia* plants on the Tersko-Kuma sand. Forest Proceedings. 2018. No 6. Pp. 144–151.
8. Surkhaev G. A., Surkhaev I. G., Kulik K. N., Starodubtseva G. P. The experience of forest reclamation of ecosystems of sandy massifs of the Tersko-Kuma interfluve. Ecosystems. Ecology and dynamics. 2019. Vol. 3. No 4. Pp. 5–23.
9. Surkhaev G. A., Surkhaeva G. M. Ecological and biological aspects of the formation of pasture-protective elm plantations in the phytomelioration of the Western Caspian. Scientific and Agromomic Journal. 2022. No 4. Pp. 44–49.
10. Tishin D. V., Chizhikova N. V. Dendrochronology: An educational and methodical manual. Kazan, 2018. P. 34.
11. Lepesko V. V., Belyaev A. I., Pleskachev Yu. N., Pugacheva A. M., Rybashlykova L. P., Fomin S. D. Monitoring the state and ecological ameliorative effect of tree and shrub coulisse and row plantings on pastures in the arid conditions of the northern Caspian. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341.
12. Sapanov M. K. Environmental Implications of Climate Warming for the Northern Caspian Region. Arid Ecosystems. 2018. Vol. 8. Iss. 1. Pp. 13–21.

Информация об авторах

Сурхаев Гасан Абдулкадирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), e-mail: gasan2255@mail.ru

Сурхаева Гульнара Магомедовна, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97).

Author's Information

Surkhaev Hasan Abdulkadirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center of agroecology, integrated land reclamation and protective afforestation of the Russian Academy of Science (Russian Federation, 400062, Volgograd, av. Universitetskiy, 97), e-mail: gasan2255@mail.ru

Surkhayeva Gulnara Magomedovna, Researcher, Federal Scientific Center of agroecology, integrated land reclamation and protective afforestation of the Russian Academy of Science (Russian Federation, 400062, Volgograd, av. Universitetskiy, 97).

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-18

INFLUENCE OF THE COMBINATION OF MICROBIOLOGICAL AND MINERAL FERTILIZERS ON THE BIOLOGICAL INDICATORS OF ORDINARY CHERNOZEM

**A. Kh. Zanirov^{1,2}, S. R. Konova¹, A. M. Leshkenov¹, M. R. Aznaeva²,
M. Z. Nagoeva², D. G. Dudarova²**

¹*Institute of Agriculture – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov"
Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: amiran78@inbox.ru

Received 12.09.2023

Submitted 20.11.2023

The research was carried out as part of the implementation of the State assignment for 2022-2024 No. NIOKTR: 122041300008-5 "Monitoring the effectiveness of the use of mineral and organomineral fertilizer systems and their impact on the properties of ordinary carbonate chernozem in the conditions of rainfed and irrigated agriculture of the steppe zone of the Central Ciscaucasia for the conservation and reproduction of soil fertility"

Summary

The effect of soil bioactivation with effective strains of microorganisms on the intensity of its basal respiration (BR) and cellulose decomposition activity (CA) was studied. It has been shown that changes in the biological activity of soil depend on a number of factors, in particular on the use of mineral fertilizers. The results obtained and the patterns identified can be used in practice to calculate the optimal doses of applied fertilizers and increase the coefficient of their use by plants.

Abstract

Introduction. For the sustainable development of agroecosystems in the conditions of intensified agriculture, it is necessary to study the patterns of formation and changes in the biological activity of the soil, as well as to search for ways of targeted control of individual biochemical processes. **Object.** The object of the research was samples of ordinary chernozem collected at the experimental site of the Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences in the steppe zone of the Kabardino-Balkarian Republic. **Materials and methods.** Seeds of winter wheat of the Yu-zhanka variety were sown in 1-liter vessels in the amount of 16 pieces per vessel. The experiment was repeated 3 times. Mineral fertilizers in the form of nitroammophoska (NPK 16:16:16) were applied at the rate of 2 grams per vessel. **Results and conclusions.** The data obtained as a result of the study indicate the positive effect of introducing effective strains of microorganisms into the soil. The absolute maximum value of basal respiration was noted during soil bioactivation in the Control + Bio variant and amounted to 13.7 µg CO₂/h/1 g of soil. The influence of plants on soil respiration manifested itself to varying degrees. When

sowing plants in control soil (option 3 “K+R”), the rate of basal respiration increased by 4.3% to a value of 9.6 $\mu\text{g CO}_2/\text{h/1 g}$ of soil. When sowing plants in soil enriched with microorganisms (option 4 “K+R+Bio”), an increase in values to 10.5 $\mu\text{g CO}_2/\text{h/1 g}$ of soil was observed, which is 10.7% higher than in the control. The effect of mineral fertilizers in the soil on option 5 “K+NPK” led to a significant decrease in the intensity of soil respiration to 5 $\mu\text{g CO}_2/\text{h/1 g}$ of soil. Against the background of soil enriched with strains of microorganisms in option 6 “K+NPK+Bio”, no inhibitory effect of mineral fertilizers was observed. In the variant with unenriched soil (variant 7), the basal respiration rate was 6.7 $\mu\text{g CO}_2/\text{h/1 g}$ of soil. Based on the available results, it follows that in variants using mineral fertilizers and with vegetative plants, as well as their combinations on microbiologically enriched soil, the indicators of basal soil respiration are stable and vary within the range of 10.3-10.5 $\mu\text{g CO}_2/\text{h/1 g}$ of soil. At the same time, the respiration rate of soil not enriched with microorganisms ranges from 5.0-9.6 $\mu\text{g CO}_2/\text{h/1 g}$ of soil. From the above, we can conclude that the introduction of agronomically valuable strains of microorganisms into the soil can significantly reduce the inhibitory effect of mineral fertilizers on soil microbiota and maintain a higher intensity of biochemical reactions in it.

Key words: soil bioactivation, basal respiration, cellulose-decomposing activity.

Citation. Zanirov A. Kh., Konova S. R., Leshkenov A. M., Aznaeva M. R., Nagoeva M. Z., Dudarova M. G., Zanirov A. Kh. Influence of the combination of microbiological and mineral fertilizers on the biological indicators of ordinary chernozem. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 176-186 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-18.

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 631.46

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО

А. Х. Заниров^{1,2}, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук,
руководитель центра

С. Р. Конова¹, младший научный сотрудник

А. М. Лешкенов¹, научный сотрудник

М. Р. Азнаева², лаборант-исследователь

М. З. Нагоева², начальник отдела

Д. Г. Дударова², лаборант-исследователь

¹ Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра
Российской академии наук

² ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова»
Кабардино-Балкарская Республика, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения Государственного задания на 2022-2024 годы
№ НИОКТР: 122041300008-5 «Мониторинг эффективности применения минеральных и
органо-минеральных систем удобрения и их влияния на свойства чернозема обыкновенного
карбонатного в условиях богарного и орошаемого земледелия степной зоны Центрального
Предкавказья для сохранения и воспроизводства почвенного плодородия

Актуальность. Для устойчивого развития агроэкосистем в условиях интенсификации сельского хозяйства необходимо изучение закономерностей формирования и изменения биологической активности почвы, а также поиск путей направленного управления отдельными биохимическими процессами. **Объект.** Объектом исследований являются образцы чернозема обыкновенного, отобранные на опытном участке Института сельского хозяйства КБНЦ РАН в степной зоне КБР. **Материалы и методы.** В сосуды объемом 1 л высевались семена озимой пшеницы сорта Южанка в количестве 16 шт./сосуд. Повторность опыта 3-х кратная. Минеральные удобрения в виде нитроаммофоски (NPK 16:16:16) вносились из расчета 2 грамма на сосуд.

Результаты и выводы. Данные, полученные в результате исследования, свидетельствуют о положительном влиянии внесения в почву эффективных штаммов микроорганизмов. Абсолютное максимальное значение базального дыхания отмечено при биоактивации почвы на варианте Контроль + Био и составило 13,7 мкг $\text{CO}_2/\text{ч}/1$ г почвы. Влияние растений на дыхание почвы проявилось в различной степени. При высеве растений в контрольную почву (вариант 3 «К+Р») скорость базального дыхания выросла на 4,3% до значения 9,6 мкг $\text{CO}_2/\text{ч}/1$ г почвы. При высеве растений в почву, обогащенную микроорганизмами (вариант 4 «К+Р+Био»), наблюдался рост значений до 10,5 мкг $\text{CO}_2/\text{ч}/1$ г почвы, что на 10,7% выше, чем в контроле. Действие минеральных удобрений в почве на варианте 5 «К+NPK» привело к значительному снижению интенсивности дыхания почвы до 5 мкг $\text{CO}_2/\text{ч}/1$ г почвы. На фоне почвы, обогащенной штаммами микроорганизмов на варианте 6 «К+NPK+Био» угнетающего влияния минеральных удобрений не наблюдалось. В варианте с небогащенной почвой (вариант 7) скорость базального дыхания составила 6,7 мкг $\text{CO}_2/\text{ч}/1$ г почвы. Исходя из имеющихся результатов следует, что в вариантах с использованием минеральных удобрений и с вегетирующими растениями, а также их сочетания на микробиологически обогащенной почве показатели базального дыхания почвы стабильны и варьируют в пределах 10,3-10,5 мкг $\text{CO}_2/\text{ч}/1$ г почвы. В то же время скорость дыхания почвы, не обогащенной микроорганизмами, колеблется в пределах 5,0-9,6 мкг $\text{CO}_2/\text{ч}/1$ г почвы. Из вышесказанного можно сделать выводы, что интродукция в почву агрономически ценных штаммов микроорганизмов способна существенно снизить угнетающее влияние минеральных удобрений на почвенную микробиоту и поддерживать более высокую интенсивность биохимических реакций в ней.

Ключевые слова: биоактивация почвы, базальное дыхание, целлюлозоразлагающая активность.

Цитирование. Занилов А. Х., Конова С. Р., Лешкенов А. М., Азнаева М. Р., Нагоева М. З., Дударова М. Г. Влияние сочетания микробиологических и минеральных удобрений на биологические показатели чернозема обыкновенного. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 176-186. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-18.

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. Из происходящих изменений в почве, вызванных хозяйственной деятельностью человека, в большей степени подвержены ее биологические свойства, так как почвенная микробиота является более чувствительным представителем биоценоза [1].

Показатели биологической активности почвы все чаще находят свое применение при оценке степени ее плодородия. Одними из наиболее распространенных параметров биологической активности почвы, используемых в качестве интегральных показателей эффективного плодородия почвы, являются базальное дыхание и целлюлозоразлагающая активность почвы. По данным параметрам можно судить об интенсивности биохимических процессов в ней, которые в зависимости от структуры почвенной микрофлоры могут иметь различную направленность.

Изучение закономерностей формирования и изменения биологической активности почвы, а также поиск путей направленного управления отдельными биохимическими процессами имеет высокое практическое значение. Благодаря знаниям о трансформационных свойствах почвы можно повысить устойчивость сельскохозяйственной отрасли в целом, так как почва, являясь основным средством производства, через стабильность отрасли растениеводства обеспечивает экономическую безопасность животноводческой и перерабатывающей отраслей.

Базальное дыхание как показатель биологической активности почвы оценивается по интенсивности продуцирования ей углекислого газа и является важной биосферной функцией. Тесная корреляционная зависимость между интенсивностью дыхания

почвы и ее плодородием отмечается как в естественных, так и в культурных ценозах [2, 3], в связи с чем она может выступать ориентиром как при выборе отдельных агротехнических приемов, так и при разработке комплексных технологий в земледелии и растениеводстве.

По интенсивности дыхания почвы определяется и производственный потенциал различных горизонтов основного корнеобитаемого слоя. Е. Н. Мишустиним и В. Т. Емцевым были проведены эксперименты, демонстрирующие благоприятное действие почвенной микрофлоры на рост растений. Семена растений, высеянные в почву из разных горизонтов окультуренного чернозема, лучше всего прорастали и далее растения развивались лучше на почве из верхнего слоя (0-10 см), более богатой микрофлорой. По мере углубления 15-25 см и 30-40 развитие растений ухудшалось. При этом почвенные образцы по химическому составу не отличались. Высокая корреляционная зависимость ($r > 0,9$) интенсивности дыхания почвы отмечена с такими важными группами микроорганизмов, как аммонификаторы и нитрификаторы, а также с общим микробным числом [4].

Целлюлозоразлагающая активность почвы (ЦРА) позволяет судить о биологической активности почвы на уровне ее плодородия [5], а условия развития микроорганизмов, участвующих в процессе разложения клетчатки, соответствуют условиям произрастания культурных растений [6, 7]. При этом имеются сведения об отсутствии прямой зависимости между различными показателями биологической активности почвы, в том числе ее дыханием с интенсивностью разложения целлюлозы. Из этого можно предположить, что проявление пиков интенсивности различных биологических и биохимических процессов в почве зависит от множества факторов, в том числе и от интенсивности агротехнологий.

Поиск оптимального баланса между процессами деструкции органического вещества в почве и его синтезом является важной технологической задачей, решение которой отвечает интересам устойчивого функционирования агроэкосистем и при разработке методических рекомендаций по использованию биологических параметров почвы.

Материалы и методы. В лабораторных условиях проводилась оценка влияния консорциума агрономически ценных штаммов почвенных микроорганизмов, внесенных в образцы чернозема обыкновенного, отобранных на опытном участке Института сельского хозяйства КБНЦ РАН [8] в сочетании с минеральными удобрениями, а также в процессе роста растений озимой пшеницы. В сосуды объемом 1л высевались семена озимой пшеницы сорта Южанка в количестве 16 шт./сосуд. Повторность опыта 3-х кратная. Минеральные удобрения в виде нитроаммофоски (NPK 16:16:16) вносились из расчета 2 грамма на сосуд. Консорциум микроорганизмов, представленных *Pseudomonas fluorescence* um. А-33, *Azotobacter vinelandii* um. ИБ-4, *Trichoderma harzanium* и *Trichoderma viridae* вносился в почву перед высевом семян исходя из расчета 0,1 мл/сосуд. Концентрация живых клеток составила $2-4 \times 10^9$.

Базальное дыхание почвы определялось методом титрования связанного 0,1 NaOH в закрытой колбе углекислого газа [9].

Для оценки ЦРА была использована методика, основанная на деструкции чистой целлюлозы (лабораторная фильтровальная бумага, помещенная в капроновую сетку) [10]. Интенсивность ЦРА устанавливалась по разнице массы бумаги через 21 день после появления всходов растений. Результаты сравнительных наблюдений на данном этапе могут быть достаточно информативными, так как элементы продуктивности растений закладываются на начальных этапах развития растений [11].

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experiment scheme

Вариант 1	Контроль
Вариант 2	Контроль + Био (консорциум микроорганизмов)
Вариант 3	К + Растения (Р)
Вариант 4	К + Р + Био
Вариант 5	К + NPK
Вариант 6	К + NPK + Био
Вариант 7	К + NPK + Р
Вариант 8	К + NPK + Р + Био

Результаты и обсуждение. Полученные в результате исследования данные свидетельствуют о положительном влиянии внесения в почву эффективных штаммов микроорганизмов, что выразилось ускорением интенсивности базального дыхания во всех исследуемых вариантах (рисунок 1).

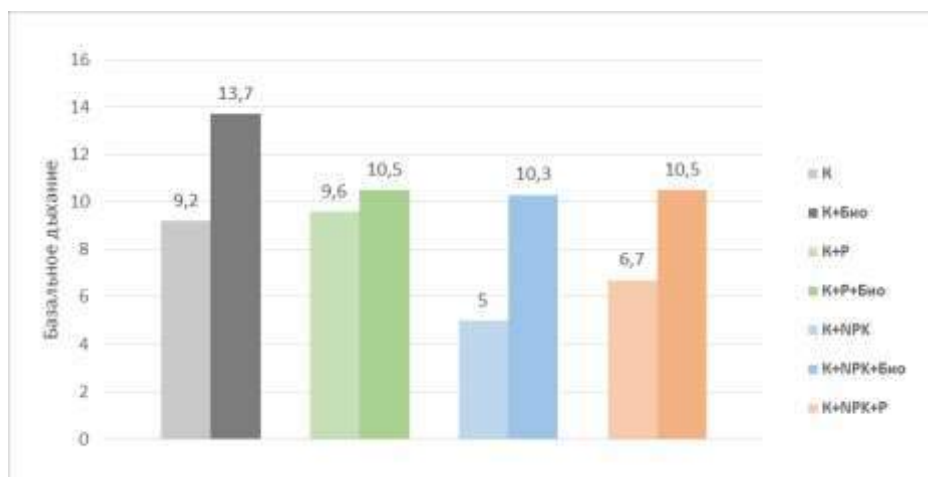


Рисунок 1 – Влияние биоактивации на дыхание почвы, мкг CO₂ /ч/г почвы

Figure 1 – Effect of bioactivation on soil respiration, $\mu\text{g CO}_2$ /h/g soil

Из рисунка 1 видно, что абсолютное максимальное значение базального дыхания отмечено при биоактивации почвы (вариант Контроль + Био), которое составляет 13,7 мкг CO₂/ч/1 г почвы, что выше, чем в контрольном варианте (9,2 мкг CO₂/ч/1 г почвы) на 48,9%.

Влияние растений на дыхание почвы проявилось в различной степени и зависело от используемых средств повышения урожая, в том числе микробиологического происхождения. Так, при высеве растений в контрольную почву (вариант 3 «К+Р») скорость базального дыхания выросла на 4,3% – до значения 9,6 мкг CO₂/ч/1 г почвы. Высев растений в почву, обогащенную микроорганизмами (вариант 4 «К+Р+Био») демонстрировал рост значений до 10,5 мкг CO₂/ч/1 г почвы, что на 10,7% выше, чем в контроле, при этом разница между двумя вариантами «К+Р» и «К+Р+Био» составила 9,4% в пользу биоактивированной почвы.

Внесение минеральных удобрений, как существенный антропогенный фактор, проявило специфичное влияние на уровень биологической активности почвы. Их действие в почве (вариант 5 «К+NPK») привело к значительному снижению интенсивности дыхания почвы до 5 мкг CO₂/ч/1 г почвы (45,7%). Полученные результаты подтверждают имеющиеся данные о существенном влиянии антропогенного фактора на дыхание почвы, сила влияния которого оценивается в 75,3% и является причиной снижения

потенциала микробной биомассы почвы [12]. В то же время на фоне микробиологически обогащенной почвы (вариант 6 «К+НПК+Био») угнетающего влияния минеральных удобрений не было обнаружено, более того по сравнению с контрольным вариантом интенсивность дыхания почвы возросла на 12% (10,3 мкг CO₂/ч/1 г почвы), а в сравнении с вариантом 5 (К + NPK) была выше на 106%.

Показатели биологической активности почвы в вариантах с внесением минеральных удобрений под растения (вариант 7 и 8) повторяют тренды изменения предыдущих вариантов (варианты 5 и 6), где использованы минеральные удобрения без растений. В варианте с небогащенной почвой (вариант 7) скорость базального дыхания составляет 6,7 мкг CO₂/ч/1 г почвы, что на 27,2% ниже, чем в контрольном варианте. В биоактивированной почве с растениями (вариант 8) скорость базального дыхания составляет 10,5 мкг CO₂/ч/1 г почвы – столько же, сколько и в варианте 6.

Анализируя имеющиеся результаты следует отметить, что в вариантах с использованием минеральных удобрений с вегетирующими растениями, а также их сочетания на микробиологически обогащенной почве, показатели базального дыхания почвы стабильны и варьируют в пределах 10,3-10,5 мкг CO₂/ч/1 г почвы. В тоже время пределы колебания скорости дыхания почвы, не активированной микроорганизмами, показывают большие колебания – 5,0-9,6 мкг CO₂/ч/1 г почвы.

В данном случае можно сделать вывод, что интродукция в почву агрономически ценных штаммов микроорганизмов способна существенно снизить угнетающее влияние минеральных удобрений на почвенную микробиоту и поддерживать более высокую интенсивность биохимических реакций в ней.

Целлюлозоразлагающая активность (ЦА). Интенсивность распада клетчатки в почве отражает комплекс формирующихся условий, которые влияют в итоге на урожайность сельскохозяйственной культуры [13].

Целлюлозолитическая активность во многом регулируется климатическими условиями и почвенно-экологическими факторами [14]. Если возможность регулирования человеком климатических параметров существенно ограничена, то повлиять на почвенно-экологические факторы человек имеет больше возможностей. Так, различными агротехническими приемами и средствами можно влиять на направление функционирования микроорганизмов для решения практических задач повышения плодородия почвы [15]. В частности, существенное влияние на целлюлозоразлагающую активность оказывает внесение в почву минеральных удобрений.

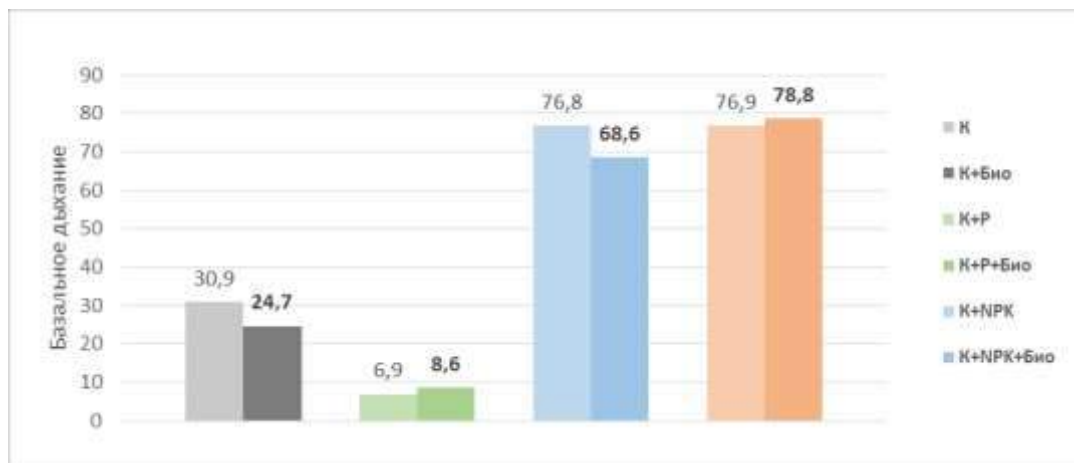


Рисунок 2 – Влияние биоактивации почвы на ЦРА почвы, %

Figure 2 – Effect of soil bioactivation on soil CRA, %

Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод, что в зависимости от природы происхождения средств внесенных в почву, будет зависеть интенсивность распада клетчатки в ней.

Исследуемое сочетание средств во многом моделирует условия производственного процесса. В варианте 2 (К+Био) имитируется ситуация, когда в почву с целью повышения ее биологической активности вносится консорциум агрономически эффективных штаммов микроорганизмов. В данном случае мы видим, что по отношению к контрольному варианту прием биоактивации ведет к снижению ЦА на 20,1% (с 30,9% до 24,7%). В то же время базальное дыхание как смежный параметр биологической активности почвы возрастало на 48,9%. Это может свидетельствовать о специфичности ферментного аппарата микроорганизмов, направленного в большей степени на процессы синтеза в почве.

Сравнивая действие варианта 3 (К+Р) с контрольным вариантом, отмечаем значительное снижение ЦА на 77,7% – с 30,9% до 6,9%. Аналогичный тренд отмечается и при сравнении варианта 4 (К+Р+Био) с вариантом 2 (К+Био), в котором снижение интенсивности ЦА составляет 65,2% – с 24,7% до 8,6%. Учитывая, что интенсивность распада клетчатки зависит от содержания в почве подвижного азота [14], можно предположить, что доступный азот почвы перехватывается корневой системой вегетирующих растений, тем самым исключая его из процесса распада клетчатки в почве.

Значительный рост ЦА отмечается при внесении в почву минеральных удобрений (варианты 5 и 6). При этом же сохраняется тенденция к снижению ЦА на фоне биоактивированной почвы. В варианте 6 показатель ЦА равен 68,6%, что меньше на 10,7%, чем в варианте 5 (76,8%).

Сила действия минеральных удобрений, выраженная в способности к разрушению клетчатки, сохранилась в почве с вегетирующими растениями (варианты 7 и 8), несмотря на то, что в присутствии растений без минеральных удобрений ЦА снижалась на 65,2-77,7%. При этом в варианте 8, где росла озимая пшеница (на фоне минеральных удобрений и микроорганизмов) ЦА была максимальной (78,8%) и была выше на 14,9%, чем в варианте 6, что может свидетельствовать об активации деструктурирующих функций микроорганизмов при ассоциации с корневой системой растений.

Судя по соотношению доли корней к надземной части растений, можно отметить, что целлюлозоразлагающее действие минеральных удобрений распространяется и на относительно свежее органическое вещество в виде корневых волосков.

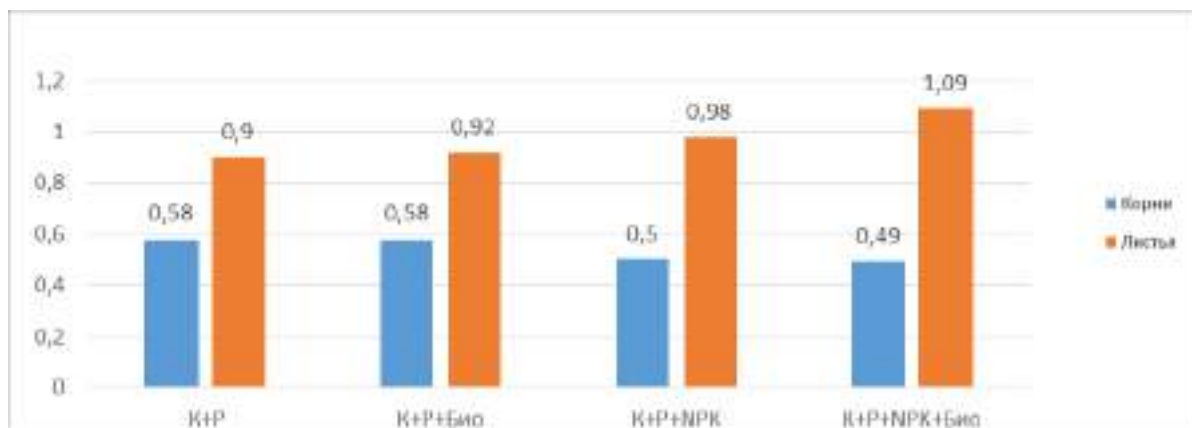


Рисунок 3 – Масса частей растений, г
Figure 3 – Weight of plant parts, g

Данные диаграммы свидетельствуют о положительном влиянии минеральных удобрений на рост надземной части растений, масса которых в вариантах 7 и 8 оказалась выше, чем в вариантах 3 и 4, на 8,9% и 18,5% соответственно. Но при этом же масса корней растений в тех же вариантах опыта оказалась ниже на 13,8% и 15,5%.

Степень влияния исследуемых показателей биологической активности почвы на биомассу частей растений установлена по коэффициентам корреляции.

Таблица 2 – Корреляционные зависимости параметров биологической активности почвы и биомассы растений

Table 2 – Correlation coefficients of soil bioactivity and plant biomass

Корни			
Варианты	Масса, г	ЦА, %	БД, мкг СО ₂ /ч/г почвы
№3	0,58	6,9	9,6
№4	0,58	8,6	10,5
№7	0,5	76,9	6,7
№8	0,49	78,8	10,5
R=		-0,998	0,392
Листья			
Варианты	Масса, г	ЦА, %	БД, мкг СО ₂ /ч/г почвы
№3	0,9	6,9	9,6
№4	0,92	8,6	10,5
№7	0,98	76,9	6,7
№8	1,09	78,8	10,5
R=		0,857	0,08

Из таблицы 2 видно, что коэффициентом корреляции подтверждается влияние минеральных удобрений на разложение органических соединений в почве. Так, между биомассой корней и ЦА отмечается высокая обратная связь ($r=-0,998$). В то же время ЦА высоко, но уже положительно коррелирует с биомассой наземной части растений.

Базальное дыхание на этапе наблюдения демонстрирует существенно меньшие связи с биомассой растений. Так, с биомассой корней отмечается умеренная связь ($r=0,392$), а биомассой наземной части связи не обнаружено ($r=0,08$).

Заключение. Выявленные в результате проведенного эксперимента данные свидетельствуют о целесообразности использования параметров биологической активности почвы для оценки агроэкологической эффективности используемых почвоудобрительных средств различной природы. В частности, выявлено, что внесение минеральных удобрений в почву значительно повышает интенсивность деструкции целлюлозы, что на практике может использоваться для расчета доз удобрений и выбора способа их внесения в зависимости от количества легкоразлагаемого органического вещества в почве.

По показателю базального дыхания почвы также можно подобрать биопрепараты на основе штаммов, способных снижать негативное влияние минеральных удобрений на микробиоту, что выражается в увеличении скорости базального дыхания до двух раз. На практике это позволит увеличить долю корневой системы и, соответственно, площадь питания растений и повысить коэффициент использования внесенных минеральных удобрений.

Комплексное использование исследуемых показателей биологической активности почвы позволит создать такие условия, при которых можно поддерживать оптимальный баланс углерода в биоцикле, исключая его непродуктивные потери.

Conclusions. The data revealed as a result of the experiment indicate the expediency of using the parameters of the biological activity of the soil to assess the agroecological effectiveness of the soil-forming agents used of various nature. In particular, it has been found that the application of min-

eral fertilizers to the soil significantly increases the intensity of cellulose destruction, which in practice can be used to calculate the doses of fertilizers and choose the method of their application depending on the amount of easily decomposable organic substance in the soil.

In terms of basal respiration, it is also possible to select biologics based on strains that can reduce the negative effect of mineral fertilizers on the microbiota, which is expressed in an increase in the rate of basal respiration up to twice. In practice, this will increase the share of the root system and, accordingly, the area of nutrition of plants and increase the utilization rate of applied mineral fertilizers.

The complex use of the studied indicators of the biological activity of the soil will create conditions under which it is possible to maintain an optimal balance of carbon in the bio cycle excluding its unproductive losses.

Библиографический список

1. Рукавицина И. В., Чуркина Г. Н., Кунанбаев К. К. Оценка биологической активности черноземных почв в зависимости от технологии возделывания пшеницы и рапса в условиях Северного Казахстана. Вестник Карагандинского университета. 2018. № 3 (91). С. 24-32.
2. Завьялова Н. Е. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотофиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании. Почвоведение. 2020. № 3. С. 372-378.
3. Пиголева С. В. Влияние ассоциативных микроорганизмов на рост и устойчивость растений к ксенобиотикам и фитопатогенам. Прикладная биохимия и микробиология. 2020. № 4. С. 390-400.
4. Занилов А. Х., Шилова Е. П. Инновационные приемы эффективности минерального питания растений. Методические рекомендации. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 132 с.
5. Ушаков Р. Н., Виноградов Д. В., Головина Н. А. Физико-химический блок плодородия агросерой почвы. Агрохимический вестник. 2013. № 5. С. 12-13.
6. Виноградов Д. В., Гусев В. И., Кузнецов Н. П. и др. Деградационные процессы почв и земельных угодий Рязанской области. Агроэкоинформ. 2013. № 2. 8 с.
7. Виноградов Д. В., Вавилова Н. А., Дуктова Н. А., Ванюшин П. Н. Практикум по растениеводству. Рязань: РГАТУ, 2014. 320 с.
8. Лешкенов А. М., Занилов А. Х., Крылова М. Ф. Влияние биологической активности почвы на содержание органического вещества на фоне возрастающих доз минеральных удобрений. Земледелие. 2022. № 7. С. 11-15.
9. Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Гавриленко Е. Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстратиндуцированного дыхания. Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327-1333.
10. Воробейчик Е. Л., Пищулин П. Т. Влияние деревьев на скорость деструкции целлюлозы в почвах, в условиях промышленного загрязнения. Почвоведение. 2011. № 5. С. 597-610.
11. Яркова Н. Н., Федорова В. М. Семеноведение сельскохозяйственных растений: учебное пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2016. 116 с.
12. Фадькин Г. Н., Виноградов Д. В. Роль длительности применения форм азотных удобрений в формировании урожая сельскохозяйственных культур в условиях юга Нечерноземья. Международный технико-экономический журнал. 2014. № 2. С. 80-82.
13. Щур А. В., Виноградов Д. В., Валько В. П. Целлюлозолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия. Вестник КрасГАУ. 2015. № 7. С. 45-49.
14. Сирота С. М., Надежкин С. М., Лунков С. В. Влияние длительного применения удобрений на гумусное состояние черноземов: материалы V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В. В. Докучаева. Ростов-на-Дону, 2008. С. 87-91.

References

1. Rukavitsina I. V., Churkina G. N., Kunanbaev K. K. Assessment of the biological activity of black earth soils depending on the technology of cultivating wheat and rapeseed in the conditions of Northern Kazakhstan. Bulletin of Karaganda University. 2018. № 3 (91). Pp. 24-32.
2. Zavyalova N. E. Microbial biomass, respiratory activity and nitrogen fixation in the sod-podzolic soil of the Urals with various agricultural uses. Soil science. 2020. № 3. Pp. 372-378.

3. Pigoleva S. V. Influence of associative microorganisms on plant growth and resistance to xenobiotics and phytopathogens. Applied biochemistry and microbiology. 2020. № 4. Pp. 390-400.
4. Zanirov A. Kh., Shilova E. P. Innovative techniques for the effectiveness of mineral nutrition of plants. Guidelines. Moscow: Federal State Budgetary Institution Rosinformagrotech, 2017. 132 p.
5. Ushakov R. N., Vinogradov D. V., Golovina N. A. Physicochemical fertility block of agricultural soil. Agrochemical Bulletin. 2013. № 5. Pp. 12-13.
6. Vinogradov D. V., Gusev V. I., Kuznetsov N. P., etc. Degradation processes of soils and land of the Ryazan region. Agroecoinform. 2013. № 2. 8 p.
7. Vinogradov D. V., Vavilova N. A., Duktova N. A., Vanyushin P. N. Workshop on crop production. Ryazan: RGATU, 2014. 320 p.
8. Leshchenov A. M., Zanirov A. Kh., Krylov M. F. The influence of biological activity of the soil on the content of organic matter against the background of increasing doses of mineral fertilizers. Agriculture. 2022. № 7. Pp. 11-15.
9. Ananyeva N. D., Susyan E. A., Gavrilenko E. G. Features of determination of soil microbial biomass carbon by substrate induced respiration. Soil science. 2011. № 11. Pp. 1327-1333.
10. Vorobeychik E. L., Pishchulin P. T. Effect of trees on the rate of cellulose destruction in soils, under industrial pollution conditions. Soil science. 2011. № 5. Pp. 597-610.
11. Yarkova N. N., Fedorova V. M. Seed Science of Agricultural Plants: a textbook. Perm: CPI Prokrost, 2016. 116 p.
12. Fadkin G. N., Vinogradov D. V. The role of the duration of the use of forms of nitrogen fertilizers in the formation of agricultural crops in the south of the Non-Chernozem region. International Journal of Technology and Economics. 2014. № 2. Pp. 80-82.
13. Shchur A. V., Vinogradov D. V., Valko V. P. Cellulosolytic activity of soils at various levels of agrotechnical impact. Vestnik KrasGAU. 2015. № 7. Pp. 45-49.
14. Sirota S. M., Nadezhkin S. M., Lunkov S. V. Influence of long-term use of fertilizers on the humus state of chernozems: materials of the V Congress of the All-Russian Society of Soil Scientists named after V. V. Dokuchaev. Rostov-on-Don, 2008. Pp. 87-91.

Информация об авторах

Заниров Амиран Хабилович, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель центра декарбонизации АПК и региональной экономики КБГУ (Российская Федерация, 361336, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нарткала, ул. Ленина, д. 76), e-mail: amiran78@inbox.ru

Коновая Сарина Руслановна, младший научный сотрудник, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (Российская Федерация, 361224, Кабардино-Балкарская Республика, Терский район, с. В-Акбаш, ул. Калмыкова, д. 5), e-mail: agrohimlabkbnish@yandex.ru

Лешченко Аслан Музаемович, научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии и почвенных исследований, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (Российская Федерация, 361304, Кабардино-Балкарская Республика, Урванский район, ул. Кирова, д. 151), ORCID: 0000-0001-9516-3213, e-mail: aslan.leshchenov@yandex.ru

Азнаева Милана Радиевна, лаборант-исследователь центра декарбонизации АПК КБГУ, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова (Российская Федерация, 360004, Кабардино-Балкарская Республика г. Нальчик, ул. Крупской, д. 37а), e-mail: miazna@mail.ru

Нагоева Маринат Заурбиевна, начальник отдела мониторинга агроэкосистем, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова (Российская Федерация, 361500, Кабардино-Балкарская Республика, с. Дыгулбегей, ул. Баксанова, д. 78а), e-mail: marina.khimlab@mail.ru

Дударова Динара Гумарбиевна, лаборант-исследователь, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова (Российская Федерация, 361515, Кабардино-Балкарская Республика, с. Н. Куркужин, ул. Кипова, д. 20), e-mail: dudarova.dinara00@mail.ru

Author's Information

Zanirov Amiran Khabidovich, senior researcher, candidate of agricultural sciences, head of the center for decarbonization of the agro-industrial complex and regional economy of the KBSU (Russian Federation, 361336, Kabardino-Balkar Republic, Nartkala, st. Lenin, 76), e-mail: amiran78@inbox.ru

Konova Sarina Ruslanovna, Junior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 361224, Kabardino-Balkarian Republic, Tersky District, s. V-Akbash, Kalmykova St., 5), e-mail: agrohimlabkbniish@yandex.ru

Leshkenov Aslan Muzamedovich, researcher, head of the laboratory of agrochemistry and soil research, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 361304, Kabardino-Balkarian Republic, Urvan district, st. Kirova, 151), ORCID: 0000-0001-9516-3213, e-mail: aslan.leshckenov@yandex.ru

Aznaeva Milana Radievna, laboratory assistant-researcher at the Center for Decarbonization of the APK KBSU, Kabardino-Balkarian State University named after Kh. M. Berbekov (Russian Federation, 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, st. Krupskaya, 37a), e-mail: miazn@mail.ru

Nagoeva Marinat Zaurbievna, Head of the Department for Monitoring Agroecosystems, Kabardino-Balkarian State University named after Kh. M. Berbekov (Russian Federation, 361500, Kabardino-Balkarian Republic, s. Dygubgei, st. Baksanova, 78a), e-mail: marina.khimlab@mail.ru

Dudarova Dinara Gumarbievna, research laboratory assistant, Kabardino-Balkarian State University named after Kh. M. Berbekov (Russian Federation, 361515, Kabardino-Balkarian Republic, p. N. Kurkuzhin, st. Kipova, 20), e-mail: dudarova.dinara00@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-19

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF THE GREEN MASS OF SAFFLOWER DYE IN THE RICH CULTIVATION CONDITIONS OF THE NORTHERN CASPIAN

I. I. Klimova, E. V. Yachmeneva

*Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Astrakhan region, the village of Solenoe Zaimishche, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: irina.ssd1981@yandex.ru

Received 03.07.2023

Submitted 10.10.2023

Summary

The article presents a comparative assessment of varieties of safflower dye for fodder value in the rain conditions of the Astrakhan region. The selected variety is not inferior in energy value to concentrated feeds.

Abstract

Introduction. Astrakhan region is located in a zone of risky farming, in this regard, the main problem of animal husbandry is the production of high-quality feed. Selection and evaluation of feed quality are fundamental factors in livestock production. **Objects** of the study were spike-free varieties from the VIR collection. **Materials and methods.** Studies on the nutritional value of the green mass of safflower were carried out according to generally accepted methods: Dospekhov B. A., State variety testing of agricultural crops, Assessment of morpho-biological and economic characteristics was carried out according to the Classifier of the species *Carthamus tinctorius* L., calculation of the exchange energy in the feed mass was carried out according to the L. K. Ernst method. **Results and conclusions.** The article presents the results of assessing the productivity and quality of the green mass of safflower. During the study, the Akmai variety was identified with the best indicators for the content of crude protein (17.00%), fat (3.06%), nitrogen-free extractives (616.9 g), feed unit (1.04) and low fiber content (12.52%). The Akmai variety on average exceeded the studied varieties in terms of yield of green mass by 1.2...3.9 t/ha and dry matter yield by 1.2...3.7% over two years. The variety distinguished by a set of characteristics meets the requirements of production as a forage crop.

Key words: *tinctorial safflower, green material of a safflower, quality of green material of a safflower, condition of cultivation of a safflower.*

Citation. Klimova I. I., Yachmeneva E. V. Productivity and quality of the green mass of safflower dye in the rich cultivation conditions of the northern Caspian. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 186-192 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-19.

Author's contribution. All the authors of the study were directly involved in the implementation and analysis of this experiment. All the authors of this article have read the final version presented and approved it.

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

УДК 633.863.2:631.586(470.46)

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ САФЛОРА
КРАСИЛЬНОГО В БОГАРНЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ****И. И. Климова**, научный сотрудник**Е. В. Ячменева**, младший научный сотрудник*ФГБНУ Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН
Астраханская область, село Соленое Займище, Российская Федерация*

Актуальность. Астраханская область находится в зоне рискованного земледелия, в этой связи главной проблемой животноводства является производство высококачественных кормов. Подбор и оценка качества кормов – основополагающие факторы в животноводческом производстве. **Объектами** исследования являлись бесшиповые сорта из коллекции ВИР. **Материалы и методы.** Исследования по изучению питательности зеленой массы сафлора проводились по общепринятым методикам: Доспехова Б. А., Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Оценка морфо-биологических и хозяйственных признаков проводилась согласно Классификатору вида *Carthamus tinctorius L.*, расчет обменной энергии в кормовой массе проводили по методике им. Л. К. Эрнста. **Результаты и выводы.** В статье представлены результаты по оценке продуктивности и качеству зеленой массы сафлора. В ходе изучения был выделен сорт Акмай с наилучшими показателями содержания сырого протеина (17,00%), жира (3,06 %), безазотистых экстрактивных веществ (616,9 г), кормовой единицы (1,04) и низким содержанием клетчатки (12,52 %). Сорт Акмай в среднем за два года превышал изучаемые сорта по урожайности зеленой массы на 1,2...3,9 т/га и выходу сухого вещества на 1,2...3,7 %. Выделившийся по комплексу признаков сорт отвечает требованиям производства как культура кормового назначения.

Ключевые слова: сафлор красильный, зеленая масса сафлора, качество зеленой массы сафлора, условия возделывания сафлора.

Цитирование. Климова И. И., Ячменева Е. В. Продуктивность и качество зеленой массы сафлора красильного в богарных условиях Северного Прикаспия. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 186-192. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-19.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Увеличение производства и улучшение качества кормов становится актуальнейшей задачей сельского хозяйства в конкретных почвенно-климатических условиях нашего региона, которую можно решить путем внедрения в производство новых нетрадиционных культур и засухоустойчивых сортов [3, 5, 9, 12-14].

В сухостепной зоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья генетическая продуктивность выращиваемых культур на неорошаемых полях полностью не реализуется, а производство кормов нестабильно по годам.

Сафлор красильный является ценной низкзатратной в кормопроизводстве культурой, сочетающей в себе ряд достоинств. Благодаря засухоустойчивости сафлор может давать стабильный урожай в самых экстремальных погодных условиях, поэтому его выращивание в богарных условиях является перспективным. Нетребовательность сафлора к почвам позволяет выращивать его даже на засоленных грунтах при резко континентальном жарком климате [1, 6, 8, 10].

Хотя за последнее время производство кормов белкового происхождения сильно выросло, дефицит белка не сокращается. Поэтому поиск новых источников протеина является одним из основных задач в решении проблемы обеспечения животных полноценным питанием [9, 11].

В кормовых целях используют семена сафлора, зеленую массу, силос, сено, сафлоровый жмых, которые обладают высокими питательными свойствами. Корма из сафлора не уступают люцерновым по содержанию белка, сахаров и клетчатки. В семенах сафлора содержится 25-37 % масел и до 12% белка. Сафлоровый жмых, который часто входит в состав комбикормов, содержит до 19 % белка, около 6-8 % масла и более 24% крахмала [2, 7, 15].

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на базе ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», расположенного во втором агроклиматическом районе Астраханской области, близком по условиям к полупустыням. Опыты были заложены в 2021-2022 гг. в соответствии с методиками Доспехова Б. А. (1985) и Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2015). Оценка морфо-биологических и хозяйственных признаков проводилась согласно Классификатору вида *Carthamus tinctorius* L. (1985).

Для изучения были выбраны высокопродуктивные бесшипные сорта сафлора из коллекции ВИР.

Количество сухого вещества определялось в лаборатории ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» путем высушивания до постоянной массы при 105°C. По разнице между первоначальной массой пробы и массой сухого вещества определялось содержание воды.

Исследование растительной массы сафлора на содержание сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы, сырого жира, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), кормовых единиц проводилось в Отделе химико-аналитических испытаний ФГБУ ЦАС «Волгоградский». Для химического анализа бралась надземная растительная масса, отбираемая согласно Методическим указаниям по оценке качества и питательности кормов (2002). Средняя проба – 1 кг воздушно-сухого вещества для анализа на питательность корма по методике Петуховой Е. А. и др. (1977). Питательность других кормов в кормовых единицах определяли по соотношению продуктивного действия этих кормов к 1 кг овса.

Определение урожайности проводилось укосным методом по методике ВНИИ кормов (2015) – метод квадрата. На каждом образце опытного участка в фазе стеблевания срезалась зеленая масса с площади 1 м² в двух повторностях.

Расчет обменной энергии и энергетической кормовой единицы (ЭКЕ) в кормовой массе проводили по методике ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста.

Результаты исследований и обсуждение. Для определения кормовых достоинств сафлора красильного проводились анализы химического состава его сухой биомассы.

По содержанию микроэлементов в сухой массе сафлора различий между сортами практически не наблюдалось. Количество N находилось в пределах 2,19...2,40 %, P – 0,30...0,33%, K – 2,82...3,12%, Ca²⁺ – 1,04...1,20 %, Mg²⁺ – 0,29...0,53 % (таблица 1).

Одним из значительных показателей питательной ценности кормовых культур является содержание в сухом веществе сырого протеина и сырого жира.

Необходимо отметить, что по данным признакам в среднем за два года изучения большинство сортов находились примерно на одном уровне. Так, сырой протеин находился в пределах 15,69...15,94 %, сырой жир – 2,54...2,86%.

Наибольшее количество сырого протеина и сырого жира в составе кормовой массы наблюдались у сорта Акмай – 17,00% и 3,06 % соответственно.

Из изучаемых сортообразцов более мягкими кормами, то есть, с низким содержанием клетчатки, выделились сорта Акмай (12,52 %) и Шифо (12,64%).

Наличие в корме безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), основу которых составляют пентозаны, в т.ч. сахара и крахмал, находилось в пределах 578,8...616,9 г.

Энергетическая оценка корма нужна для того, чтобы максимально точно рассчитать, необходимое количество питательных и минеральных веществ, которое должны получать животные согласно их потребности и физиологического состояния. Это позволит повысить эффективность в производстве животноводческой продукции за счет сбалансированного состава рациона животных.

По результатам лабораторных исследований было выявлено, что по энергетической ценности сено сафлора приближено к концентрированным кормам, таким как овес, рожь, пшеница, ячмень.

Все образцы имеют высокий показатель энергетической кормовой единицы (ЭКЕ), который составил 0,98...1,04 (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание питательных веществ в сухой массе сафлора, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», в среднем за 2021-2022 гг.

Table1 – Nutrient content in the dry mass of safflower, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences on average for 2021-2022

Показатели / Indicators	Название сорта / Name of the variety			
	Шифо / Shifo	Ширкас / Shirkas	Акмай / Akmay	ВИР 2933 / VIR 2933
N общ., % / N total., %	2,19	2,21	2,40	2,23
Сырой протеин, % / Raw protein, %	15,69	15,81	17,00	15,94
P, %	0,30	0,30	0,33	0,32
K, %	2,82	2,82	3,12	2,82
Зола, % / Ash, %	9,12	8,64	9,77	8,64
Ca ²⁺ , %	1,12	1,04	1,20	1,12
Mg ²⁺ , %	0,29	0,53	0,53	0,48
Гигровлага, % / Gigrovлага, %	7,91	7,50	6,88	8,33
Сырой жир, % / Raw fat, %	2,86	2,54	3,06	2,55
Клетчатка, % / Fiber, %	12,64	14,68	12,52	15,86
БЭВ, г. / BEV, g.	607,5	603,3	616,9	578,8
ЭКЕ / EKE	1,02	1,00	1,04	0,98

Опираясь на материалы исследований можно сказать, что изучаемые сорта сафлора красильного обеспечивают увеличение производства сухой массы высокого кормового достоинства за счет повышенного содержания сырого протеина, сырого жира, золы и низкого содержания клетчатки.

По содержанию питательных веществ в сухой массе сафлора был выделен сорт Акмай, который по многим показателям превзошел изучаемые нами сорта.

Для выращивания сафлора на зеленый корм, сено или силос важным хозяйственно ценным признаком является урожайность зеленой и сухой биомассы.

В среднем за два года изучения урожайность зеленой массы сафлора составила 37,3...41,2 т/га, а урожайность сухой массы – 8,2 ...10,5 т/га. Наибольшей урожайностью отличились сорта Шифо и Акмай.

Питательность корма зависит от количества гигровлаг: чем больше содержание воды, тем меньше в корме сухих веществ и питательной ценности.

Наибольший процент выхода сухого вещества был отмечен у сорта Акмай – 25,5 %, за счет пониженного содержания гигровлаг – 6,88 %.

Таблица 2 – Показатели урожайности зеленой и сухой массы сафлора красильного, ФГБНУ «ИАФНЦ РАН», в среднем за 2021-2022 гг.

Table 2 – Yield indicators of green and dry mass of safflower dye, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, on average for 2021-2022

Название сорта / Name of the variety	Урожайность, т/га / Crop capacity, t/ha		Выход сухого в-ва, % / Dry matter yield, %
	зеленой массы / green mass	сухой массы / dry mass	
Шифо / Shifo	40,0	9,7	24,3
Ширкас / Shirkas	37,3	8,5	22,8
Акмай / Akmay	41,2	10,5	25,5
ВИР 2933 / VIR 2933	37,6	8,2	21,8
НСР ₀₅	3,18	1,96	2,36

Выводы. При возделывании сафлора на зеленый корм в условиях Астраханской области продуктивными и энергетически ценными показали себя все изучаемые сорта.

Сорт Акмай отличился высокой питательностью кормов с показателем энергетической кормовой единицы 1,04, содержанием сырого протеина 17,00 %, сырого жира 3,06 %, БЭВ 616,9 г., урожайностью зеленой массы 41, 2 т/га и выходу сухого вещества 25,5 %.

Conclusions. When cultivating safflower for green feed in the conditions of the Astrakhan region, all the varieties studied proved to be productive and energetically valuable.

The Akmay variety was distinguished by high nutritivity of feed with an energy feed unit index of 1.04, raw protein content of 17.00%, raw fat content of 3.06%, EEV of 616.9 g, green mass yield of 41, 2 t/ha and dry matter yield of 25.5%.

Библиографический список

1. Cacan E., Kokten R., Kaplan M. Determination of yield and quality characteristics of some alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars in the East Anatolia Region of Turkey and correlation analysis between these properties. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2018. No 16 (2). Pp. 1185–1198.
2. Gawel E., Grzelak M. Protein from lucerne in animals supplement diet. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2014. Vol. 12. No. 2. Pp. 314–319.
3. Анисимова И. Н. Белки семян сложноцветных: гетерогенность, полиморфизм, использование в селекционно-генетических исследованиях (обзор). *Аграрная Россия*. 2015. № 11. С. 27-35.
4. Балхова Л., Абдуллаев А., Маниязова Н. А., Кобилов Ю. Т. Урожайность и качество зерна различных сортов сафлора в разных условиях водобеспечения. *Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук*. 2022. № 2-1 (96). С. 102-105.
5. Воронов С. И., Плескачев Ю. Н., Магомедова Д. А., Киричкова И. В. Влияние норм высева на продуктивность сафлора красильного. *Проблемы развития АПК региона*. 2020. № 2 (42). С. 27-30.
6. Зайцева Н. А., Ячменева Е. В., Климова И. И., Дьяков А. С. Изучение коллекционных образцов сафлора красильного в засушливых условиях Астраханской области. *Аграрный научный журнал*. 2021. № 10. С. 29-29.
7. Зайцева Н. А., Ячменева Е. В., Климова И. И. Селекционная ценность сафлора красильного в аридных условиях Северного Прикаспия. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2022. Т. 17. № 4. С. 466-472.
8. Кильянова Т. В., Сафина Н. В. Сафлор красильный в Поволжье. *Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона. Коллективная монография*. Иваново, 2018. С. 579-587.
9. Косолапов В. М., Трофимов И. А. Кормопроизводство в экономике сельского хозяйства России. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2010. № 1. С. 31-32.
10. Куришбаев А. К., Черненко В. Г., Нурманов Е. Т., Серикпаева Ж. К., Жанзаков Б. Ж., Ошакбаева Ж. Е. Перспективы возделывания сафлора в сухостепной зоне Северного Казахстана. *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина*. 2018. № 4 (99). С. 57-70.

11. Леонтьев В. И., Сухарева Е. П., Рябова Е. Н. Возделывание сафлора красильного в сухостепной зоне темно-каштановых почв нижнего Поволжья. Научно-агрономический журнал. 2013. № 1 (92). С. 34-38.
12. Норов М. С. Продуктивность различных сортов сафлора в условиях богары центрального Таджикистана. Масличные культуры. 2019. № 3 (179). С. 60-63.
13. Плескачев Ю. Н., Воронов С. И., Магомедова Д. А. Элементы технологии возделывания различных сортов сафлора красильного. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 134-142.
14. Романов В. Н. и др. Повышение продуктивности кормовых культур в условиях Красноярского края: науч.-практ. рекомендации. Красноярск: КрасГАУ, 2013. 47 с.
15. Темирбекова С. К., Куликов И. М., Метлина Г. В., Афанасьева Ю. В., Васильченко С. А., Ионова Н. Э. Роль адаптивного потенциала в повышении экологической устойчивости сафлора красильного в трех регионах российской федерации. Образование, наука и производство. 2014. № 4 (9). С. 21-25.

References

1. Cacan E., Kokten R., Kaplan M. Determination of yield and quality characteristics of some alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars in the East Anatolia Region of Turkey and correlation analysis between these properties. Applied Ecology and Environmental Research. 2018. No 16 (2). Pp. 1185–1198.
2. Gawel E., Grzelak M. Protein from lucerne in animals supplement diet. Journal of Food Agriculture and Environment. 2014. Vol. 12. No. 2. Pp. 314–319.
3. Anisimova I. N. Proteins of complex seeds: heterogeneity, polymorphism, use in selection and genetic research (review). Agrarian Russia. 2015. № 11. Pp. 27-35.
4. Balkhova L., Abdullaev A., Maniyazova N. A., Kobilov Yu. T. Yield and quality of grain of various varieties of safflower in different conditions of water supply. Nosir Khusrav Bulletin of Bohtar State University. Science series. 2022. № 2-1 (96). Pp. 102-105.
5. Voronov S. I., Pleskachev Yu. N., Magomedova D. A., Kirichkova I. V. The influence of seeding standards on the productivity of dye safflower. Problems of development of the agro-industrial complex of the region. 2020. № 2 (42). Pp. 27-30.
6. Zaitseva N. A., Yachmeneva E. V., Klimova I. I., Dyakov A. S. Study of collectible samples of dye safflower in the arid conditions of the Astrakhan region. Agrarian Scientific Journal. 2021. № 10. Pp. 29-29.
7. Zaitseva N. A., Yachmeneva E. V., Klimova I. I. Selection value of safflower dyed in arid conditions of the Northern Caspian region. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2022. V. 17. № 4. Pp. 466-472.
8. Kilyanova T. V., Safina N. V. Safflower dyeing in the Volga region. Modern trends in the scientific support of the agro-industrial complex of the Verkhnevolzhsky region. Collective monograph. Ivanovo, 2018. Pp. 579-587.
9. Kosolapov V. M., Trofimov I. A. Feed production in the economy of agriculture of Russia. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2010. № 1. Pp. 31-32.
10. Kurishbaev A. K., Chernenok V. G., Nurmanov E. T., Serikpaeva J. K., Zhanzakov B. J., Oshakbaeva J. E. Prospects for cultivating safflower in the dry-steppe zone of Northern Kazakhstan. Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin. 2018. № 4 (99). Pp. 57-70.
11. Leontiev V. I., Sukhareva E. P., Ryabova E. N. Cultivation of safflower dyeing in the dry-steppe zone of dark chestnut soils of the lower Volga region. Scientific and agronomic journal. 2013. № 1 (92). Pp. 34-38.
12. Norov M. S. Productivity of various varieties of safflower in the conditions of the bogar of central Tajikistan. Oilseeds. 2019. № 3 (179). Pp. 60-63.
13. Pleskachev Yu. N., Voronov S. I., Magomedova D. A. Elements of the cultivation technology of various varieties of dye safflower. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. № 3 (59). Pp. 134-142.
14. Romanov V. N., et al. Increasing the productivity of feed crops in the conditions of the Krasnoyarsk Territory: scientific-practical. recommendations. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2013. 47 p.

15. Temirbekova S. K., Kulikov I. M., Metlina G. V., Afanasyeva Yu. V., Vasilchenko S. A., Ionova N. E. The role of adaptive potential in increasing the environmental stability of dyeing safflower in three regions of the Russian Federation. Education, science and manufacturing. 2014. № 4 (9). Pp. 21-25.

Информация об авторах

Климова Ирина Ивановна, научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8), e-mail: irina.ssd1981@yandex.ru

Ячmeneва Екатерина Васильевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8), e-mail: rfn.yz2009@mail.ru

Author's Information

Klimova Irina Ivanovna, lab researcher. crop selection of the Federal State Budgetary Institution "Caspian Agricultural Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, c. Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), e-mail: irina.ssd1981@yandex.ru

Yachmeneva Ekaterina Vasilievna, junior researcher at the lab. crop selection of the Federal State Budgetary Institution "Caspian Agricultural Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, c. Solenoe Zaimishche, Severny quarter, 8), e-mail: rfn.yz2009@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-20

SCREENING ROBINIA PSEUDOACACIA L. SEEDLINGS FOR SALT STRESS RESISTANCE FOR SUBSEQUENT DETECTION OF RESISTANT GENOTYPES BY MOLECULAR GENETIC METHODS

**T. S. Babakova¹, N. P. Fefelova¹, M. S. Kakotkina¹, S. V. Matveeva¹, A. A. Vasilieva¹,
A. S. Popova¹, V. G. Zaitsev²**

¹ Federal Research Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forest Breeding of the Russian Academy of Sciences

² Volgograd State University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: valeryzaitsev@gmail.com

Received 03.02.2023

Submitted 10.10.2023

The research was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 122020100449-3 "Search on selection valuable genetic material for the development of new genotypes of trees and shrubs by molecular breeding methods")

Summary

The aim of this work was development of a screening system to find salt stress tolerant black locust seedling for following identification of stress tolerant genotypes. Our system combined original protocol of black locust seed germination under salt stress conditions and originally modified DNA extraction protocol. Salt stress induced changes in germination capacity, morphological indexes and biochemical markers confirmed stress development in proposed screening system. Used DNA extraction method allowed preparing DNA with good quality for molecular genetic research. Therefore, developed screening system can be applicable to find salt stress tolerant black locust genotypes.

Abstract

Introduction. Soil salinity is an unfavorable natural factor acting in addition to water deficiency in arid areas. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) is tree widely used in agroforestry in arid lands. Therefore identification of black locust genotypes exhibiting increased salt stress tolerance is highly

important. **Objects.** Black locust seeds and seedlings. **Materials and methods.** Black locust seeds were germinated without or with NaCl in irrigation water (range of concentrations 0-300 mM). We measured seed germination rate, weight and length of 46 days old seedlings and some stress related biochemical markers. **Results and conclusions.** We found black locust seed germination capacity decreased with an increase in the concentration of NaCl (from 93% at 0 mM to 9% at 300 mM). Seedlings grown in the presence of NaCl had some morphological alterations and changes in the biochemical marker values. Strong negative correlation between NaCl concentration in irrigation water and aerial part length to root length ratio was observed. Proposed DNA extraction method allowed to prepare DNA with good quality for molecular genetic research. Developed screening system could be used to find salt stress tolerant black locust seedling for following identification of stress tolerant genotypes.

Key words: robinia seedlings, robinia genotypes, robinia pseudoacacia, plant salt stress, salt-resistant plant screening.

Citation. Babakova T. S., Fefelova N. P., Kakotkina M. S., Matveeva S. V., Vasilieva A. A., Popova A. S., Zaitsev V. G. Screening *Robinia pseudoacacia* L. seedlings for salt stress resistance for subsequent detection of resistant genotypes by molecular genetic methods. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 192-202 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-20.

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

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

УДК 581.192:57.04:581.1

СКРИНИНГ ПРОРОСТКОВ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. НА УСТОЙЧИВОСТЬ К СОЛЕВОМУ СТРЕССУ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ГЕНОТИПОВ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Т. С. Бабакова¹, младший научный сотрудник
Н. П. Фефелова¹, инженер-исследователь
М. С. Какоткина¹, инженер-исследователь
С. В. Матвеева¹, младший научный сотрудник
А. А. Васильева¹, лаборант-исследователь
А. С. Попова¹, младший научный сотрудник
В. Г. Зайцев², кандидат биологических наук

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

²ФГАОУ ВО Волгоградский государственный университет
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, тема «Поиск селекционно-ценного генетического материала для создания новых генотипов древесно-кустарниковых пород методами молекулярной селекции» (регистрационный номер НИОКТР 122020100449-3)

Актуальность. На засушливых территориях наряду с дефицитом влаги неблагоприятным экологическим фактором часто является засоление почвы. Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) широко используется в агролесомелиорации на засушливых землях. Поэтому важным представляется выявление генотипов этой породы с повышенной устойчивостью к солевому стрессу. **Объект.** Семена и проростки робинии лжеакации. **Материалы и методы.** Проращивали семена робинии лжеакации и выращивали проростки в присутствии различных концентраций NaCl (от 0 до 300 mM). Оценивалась всхожесть семян, масса и размеры проростков, а также ряд биохимических показателей, связанных с ответом растений на стресс. **Результаты и выводы.** Было установлено, что всхожесть семян робинии снижалась при увеличении концентрации NaCl (с 93% при 0 mM до 9% при 300 mM). При выращивании в присутствии

NaCl также наблюдались определенные изменения в морфологических характеристиках и биохимических показателях. Была выявлена сильная отрицательная корреляция между концентрацией NaCl и отношением длин надземной части и корней проростков. Выделение ДНК предложенным методом позволило получить препараты приемлемого для молекулярно-генетических исследований качества. Таким образом, разработанную нами систему можно считать подходящей для скрининга солеустойчивых растений робинии лжеакация с последующим выявлением устойчивых генотипов молекулярно-генетическими методами.

Ключевые слова: проростки робинии, генотипы робинии, робиния лжеакация, солевой стресс растений, скрининг солеустойчивых растений.

Цитирование. Бабакова Т. С., Фефелова Н. П., Какоткина М. С., Матвеева С. В., Васильева А. А., Попова А. С., Зайцев В. Г. Скрининг проростков *Robinia pseudoacacia* L. на устойчивость к солевому стрессу для последующего выявления устойчивых генотипов молекулярно-генетическими методами. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 192-202. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-20.

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. Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) является древесной породой, имеющей широкое практическое применение [15]. В частности, это растение используется в защитном лесоразведении и агролесомелиорации, преимущественно на территориях с засушливыми условиями [5, 9]. В таких зонах на многих участках одновременно может наблюдаться и дефицит влаги, и засоление почвы [2]. В то же время каждый вид обладает высокой генетической вариабельностью, в результате которой многие растения могут проявлять сниженную жизнеспособность под действием стрессовых факторов. Указанный факт делает чрезвычайно важным поиск и выявление генотипов робинии с более высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды. Очевидно, что для этого необходимо использовать систему скрининга, которая позволяет, во-первых, адекватным образом отбирать растения, резистентные к определенному стрессовому фактору, и, во-вторых, выделять качественные препараты ДНК из отобранных растений. Следовательно, эффективная система скрининга устойчивых генотипов должна включать в себя методику выращивания тестируемых растений в условиях контролируемого стрессирующего воздействия и методику эффективного выделения ДНК, качество которой будет приемлемо для последующего анализа современными молекулярно-генетическими методами. Выращивание растений в условиях контролируемого стресса предполагает возможность произвольно изменять интенсивность воздействия тестируемого фактора, а все остальные условия выращивания будут одинаковыми для всех растений. Обычно такие условия достижимы только в условиях лабораторного эксперимента. Однако на сегодняшний день существует ограниченное число работ, в которых в лабораторных условиях тестировалась устойчивость растений робинии к солевому стрессу, причем почти все работы выполнены на сеянцах 2-летнего возраста [6-8, 10, 11, 13]. С другой стороны, массовый отсев чувствительных к стрессовым факторам генотипов обычно происходит еще на стадии прорастания семян и раннего развития проростков [20]. Нам удалось выявить лишь две опубликованные к настоящему времени работы, в которых влияние солевого стресса на робинию оценивалось на стадии прорастания [3, 21]. Лишь в одной из этих работ [3] из проростков выделяли ДНК, но для скрининга устойчивых форм описанная модель не использовалась. Выделение ДНК из проростков, выросших в неблагоприятных условиях, может иметь определенные сложности, поскольку солевой стресс в качестве защитного клеточного ответа стимулирует в растениях синтез вторичных метаболитов, в частности

фенольных соединений [4]. Такие метаболиты могут выступать в роли ингибиторов ферментов, используемых в молекулярно-генетических методах исследований, или мешать выделению ДНК из биологических образцов [18]. Поэтому используемые методики выделения ДНК должны обладать большей устойчивостью к наличию вторичных метаболитов для получения препаратов выделенной ДНК высокого качества [17].

Целью данной работы было разработать модельную систему для отбора солеустойчивых растений робинии лжеакалии на стадии прорастания и раннего развития и проверить возможность эффективного выделения ДНК из растений, выращенных в условиях солевого стресса.

Материалы и методы. Объектом исследования стали семена робинии лжеакалии *Robinia pseudoacacia* L. (540 штук), собранные в Суровикинском районе Волгоградской области России в 2021 году. Перед посевом семена скарифицировали обработкой кипящей водой, после этого выдерживали в воде при температуре 20-25°C в течение 3 часов и высаживали в кассеты с ячейками объемом 28 мл, содержащие 25 мл субстрата (перлит: вермикулит 1:1) по 2 семени на ячейку. Полив осуществляли различными концентрациями раствора NaCl (от 0 до 300 мМ) в день посадки, на 5, 10 и 15 дни, после этого соевым питательным раствором Хогланда раз в 3-4 дня.

Всхожесть семян определяли на 10-й день после посева. На 46 день эксперимента растения извлекали из субстрата, взвешивали, измеряли длину и использовали для выделения ДНК и определения биохимических показателей. Экстракцию пигментов и определение их содержания проводили как описано в работе [19]. Содержание суммы фенольных соединений в экстрактах определяли спектрофотометрически с реагентом Фолина – Чиокалте [1], а флавоноидов – по образованию окрашенного комплекса с хлоридом алюминия [12].

Для выделения ДНК из проростков робинии использовали методику, основанную на описанной в работе [16], с модификациями, направленными на повышение выхода ДНК из образцов с высоким содержанием вторичных метаболитов. Ткани листьев растений 100 мг помещали в 2,0 мл пробирку для гомогенизации (СК28), добавляли 800 мкл экстракционного буфера, содержащего 100 мМ трис(гидроксиметил)аминометана (трис)-HCl, 50 мМ этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), 1 М NaCl, 0,043% дитиотреитолом, 2,5% поливинилпирролидона (pH 8,0). Гомогенизировали с помощью гомогенизатора Precellys 24 компании Bertin, используя программу 6000-2x30. После гомогенизации добавляли 100 мкл 20% SDS, перемешивали и инкубировали при 65°C в течение 15 мин. После инкубации добавляли 225 мкл 2М CH₃COOK и осторожно перемешивали переворачиванием. Образцы инкубировали в холодильнике при +4 °C в течение 15 минут, а затем центрифугировали при 12000 g в течение 10 минут при комнатной температуре. Супернатант переносили в новую пробирку и осаждали ДНК равным объемом холодного изопропилового спирта. Осадок ДНК осаждали центрифугированием при 12000 g в течение 10 минут, однократно промывали 70% этиловым спиртом и ресуспендировали в 100 мкл ТЕ буфера (10 мМ трис и 1 мМ ЭДТА, pH 8).

Определение концентрации ДНК полученных препаратов определяли флуориметрически. Возможность использования выделенной ДНК оценивали по ее способности к амплификации с универсальными праймерами Uniplant для штрих-кодирования по ядерному локусу ITS2: UniplantF – TGTGAATTGCARRATYCMG, UniplantR – CCCGHYTGAYYTGRGGTCDC [14]. ПЦР в реальном времени проводили с набором реагентов 5X qPCRmix-HS SYBR+LowROX (Евроген, Россия). Амплификацию выполняли с помощью системы Applied Biosystems QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США). Реакционную смесь нагревали при 95 °C в течение 10 минут, затем повторяли 40 циклов амплификации: 30 сек при 95 °C, 30 секунд при 56° C и 60 секунд при 72°C, после чего проводили финальную элонгацию в течение 10 минут при 72°C.

Для определения статистически значимых различий между группами по исследуемым количественным показателям пользовались тестом Краскала – Уоллиса с последующим анализом (post-hoc) по Данну с коррекцией множественных сравнений по Сидуку с помощью программы Microsoft Excel с надстройкой Xrealstats (<https://www.real-statistics.com/>). Для выявления наличия ассоциаций между отдельными показателями использовали корреляционный анализ по Спирмену.

Результаты и обсуждение. Для подтверждения применимости разработанной нами системы скрининга солеустойчивых форм робинии необходимо было доказать, что: (1) солевой стресс вызывает изменения в жизнеспособности растений в зависимости от концентрации NaCl; (2) под действием солевого стресса происходят изменения в биохимических показателях; (3) из проростков, выращенных при всех протестированных концентрациях NaCl, выделяется ДНК достаточного для молекулярно-генетических исследований качества.

Оценка жизнеспособности была основана на способности семян робинии прорастать при различной концентрации соли. Мы обнаружили, что увеличение концентрации NaCl в поливной воде в общем вызывает снижение всхожести семян робинии (рисунок 1), однако вплоть до концентрации 50 мМ включительно статистически значимых отличий от всхожести семян, выращенных в отсутствие NaCl, не наблюдалось (рисунок 2). При концентрации соли 100 мМ всхожесть была статистически значимо ниже, чем у интактных семян. Повышение концентрации соли до 150 мМ вызывало резкое (в 2-3 раза) снижение всхожести. При этом всхожесть в группах с поливом 150-250 мМ NaCl не имела статистически значимых отличий. При концентрации соли 300 мМ всхожесть становилась ниже 10%. Корреляционный анализ по Спирмену показал наличие статистически значимой сильной обратной ассоциации между всхожестью и концентрацией NaCl ($r_s = -0,90303$, $p = 0,00034$). Схожая динамика зависимости всхожести была обнаружена в работе [3]. Однако в силу различий в методиках нельзя точно сопоставить содержание солей между опытными группами в этих двух экспериментах. Тем не менее, мы можем констатировать, что в обоих экспериментах было выявлено критическое значение уровня солевого стресса, при котором происходило резкое снижение всхожести семян.

Дальнейшее выживание проростков также оказалось зависимым от концентрации соли в поливной воде. К 40-му дню после посева в группах, которые поливались водой с содержанием NaCl 200, 250 или 300 мМ, не выжил ни один проросток робинии. Поэтому последующие измерения были возможны лишь для проростков, выросших в условиях полива 0-150 мМ NaCl.

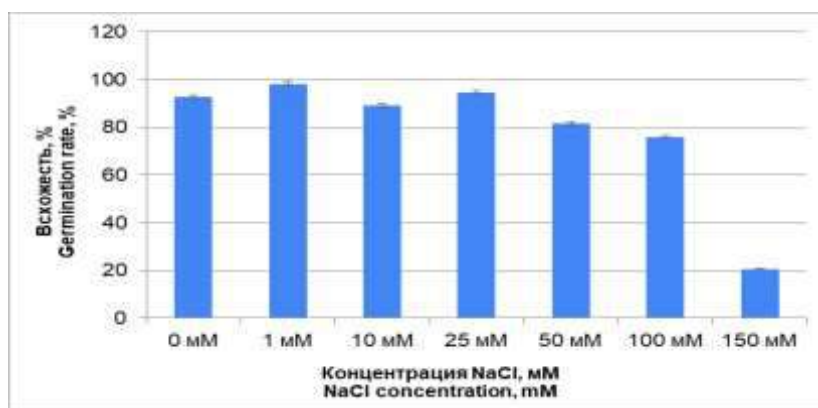


Рисунок 1 – Всхожесть семян робинии на десятые сутки, в %, в зависимости от концентрации NaCl. Данные представлены в виде медианы с указанием 95%-ного доверительного интервала

Figure 1 – Germination of robinia seeds on the tenth day, in %, depending on the concentration of NaCl. The data is presented as a median with a 95% confidence interval

	Контроль вода	1 mM вода	10 mM вода	25 mM вода	50 mM вода	100 mM вода	150 mM вода	200 mM вода	250 mM вода	300 mM вода
Контроль вода	1	0,17058	0,50928	0,59554	0,08544	0,01732	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
1 mM вода	0,17058	1	0,05118	0,30772	0,00424	0,00958	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
10 mM вода	0,50928	0,05118	1	0,29034	0,26014	0,07672	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
25 mM вода	0,59554	0,30772	0,29034	1	0,05840	0,00672	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
50 mM вода	0,08544	0,00424	0,26014	0,05840	1	0,4777	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
100 mM вода	0,01732	0,00958	0,07672	0,00672	0,4777	1	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
150 mM вода	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	1	0,12852	0,18524	0,1031
200 mM вода	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,12852	1	0,02368	0,00202
250 mM вода	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,18524	0,02368	1	0,0041
300 mM вода	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,1031	0,00202	0,0041	1

Рисунок 2 – Статистический анализ сравнения всхожести семян робинии при поливе растворами NaCl с различной концентрацией соли. Результаты представлены в виде величин достигнутого уровня значимости в тесте Краскала – Уоллеса с последующим анализом (post-hoc) по Данну. Зеленым выделены значения, свидетельствующие о статистически значимых отличиях в величине всхожести между определенными двумя опытными группами после коррекции множественных сравнений по Сидaku

Figure 2 – Statistical analysis of comparison of germination of robinia seeds with different concentrations of NaCl solution watering. The results are presented as the values of the achieved significance level in the Kraskel-Wallis test with subsequent Dann post-hoc analysis. Green values indicate statistically significant differences in the amount of germination between certain two experimental groups after correction of Sidak multiple comparisons

Общая длина проростков при изменении концентрации соли была примерно одинаковой во всех исследованных группах, проявляя тенденцию к постепенному уменьшению при увеличении концентрации соли (рисунок 3, I). Гораздо более показательным было соотношение длин надземной части и корня проростков (рисунок 3, II). При увеличении концентрации соли в поливной воде наблюдается постепенное, концентрационно-зависимое удлинение корня относительно надземной части проростков. Мы выявили сильную обратную корреляцию между концентрацией соли в воде и соотношением длины надземной части проростков к длине корня (коэффициент корреляции Спирмена $r_s = -0,90303$, $p = 0,00009$). В то же время, мы не обнаружили статистически значимых различий по массе проростков между какими-либо группами.

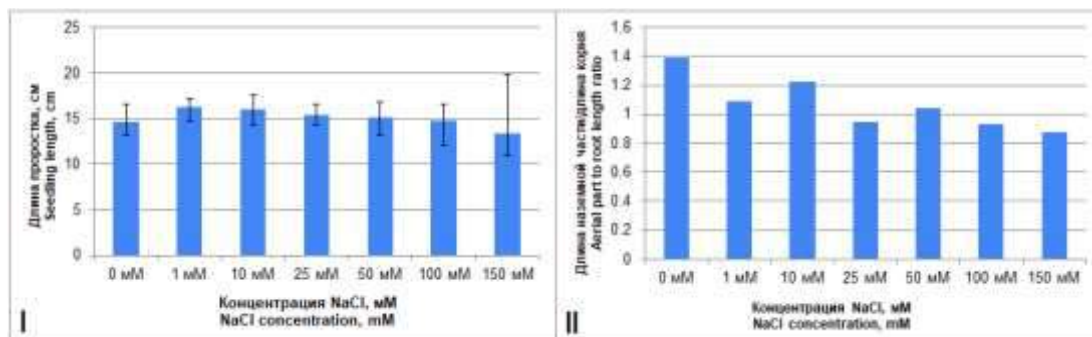


Рисунок 3 – Длина проростков (I) и соотношение длины надземной части к длине корня (II) у проростков семян робинии, выращенных при различных концентрациях NaCl. Данные представлены в виде медианы с указанием 95%-ного доверительного интервала

Figure 3 – The seedlings length (I) and the ratio of the aerial part to root length (II) in seedlings of robinia grown with various NaCl concentrations. The data is presented as a median with a 95% confidence interval

Поскольку при различных видах абиотического стресса могут наблюдаться изменения в состоянии фотосинтетического аппарата, мы изучили возможное влияние солевого стресса на состав фотосинтетических и вспомогательных пигментов у проростков робинии. Мы обнаружили, что только концентрация соли 150 мМ вызывала существенное изменение (в сторону повышения) общего содержания хлорофиллов и содержания каротиноидов, при остальных концентрациях соли не было достоверных отличий от интактных проростков, за исключением снижения содержания каротиноидов в группах 25 мМ и 100 мМ NaCl (рисунок 4). Также не было обнаружено статистически значимых отличий в соотношении содержания хлорофиллов а и b между какими-либо из исследованных групп. Наоборот, соотношение хлорофиллы/каротиноиды возрастало при увеличении концентрации соли от 0 до 25 мМ, а при дальнейшем повышении концентрации соли это соотношение уменьшалось.

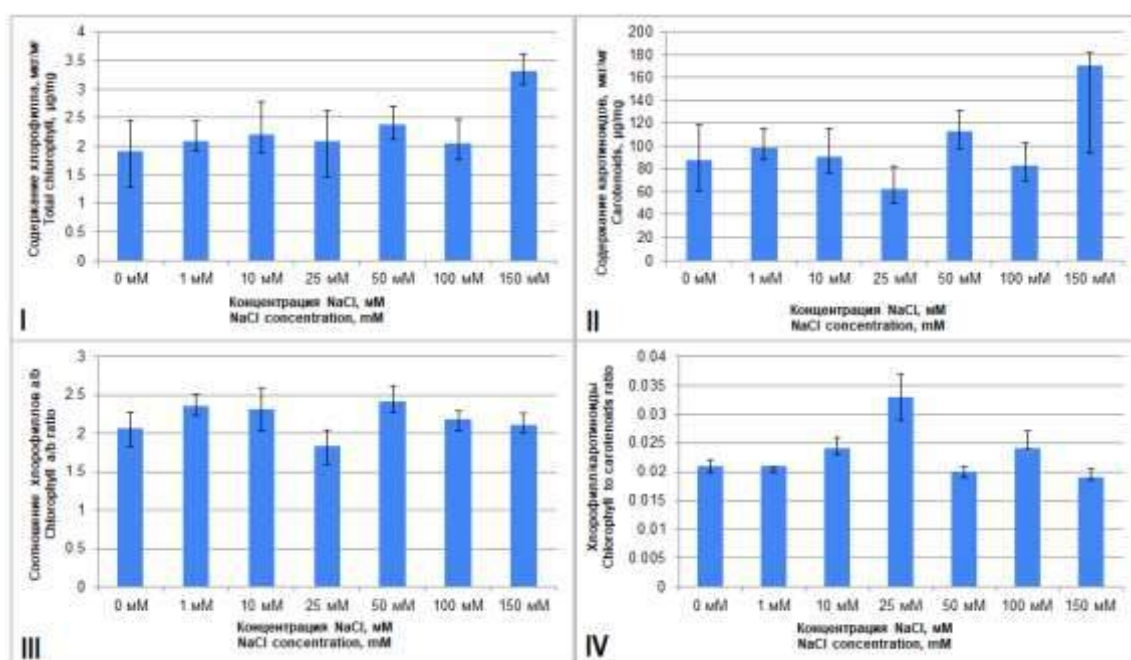


Рисунок 4 – Содержание фотосинтетических и вспомогательных пигментов в проростках семян робинии, выращенных при различных концентрациях NaCl. Данные представлены в виде медианы с указанием 95%-ного доверительного интервала

Figure 4 – Content of photosynthetic and additional pigments in robinia seedlings grown with various NaCl concentrations. The data is presented as a median with a 95% confidence interval

Мы также определили содержание вторичных метаболитов фенольной природы, которые могут накапливаться в растениях при различных видах абиотического стресса. У интактных проростков робинии содержание суммы фенольных соединений составило от 0,84 до 1,4 мкмоль/г сырой массы растения. У проростков, выращенных на солевых растворах, содержание фенолов в зависимости от концентрации NaCl существенно не отличалось, и было в диапазоне от 2,02 до 5,38 мкмоль/г сырой массы растения. Схожая картина наблюдалась для флавоноидов: содержание в интактных растениях было намного ниже, чем в растениях, выращенных на солевых растворах (рисунок 5). При этом максимальное содержание флавоноидов обнаруживалось в растениях, выращенных при концентрациях NaCl 10 и 150 мМ. Таким образом, полученные нами результаты показывают, что растения выращенные на солевых растворах отличаются от интактных проростков как по жизнеспособности, так и по ряду морфологических характеристик и биохимических показателей.

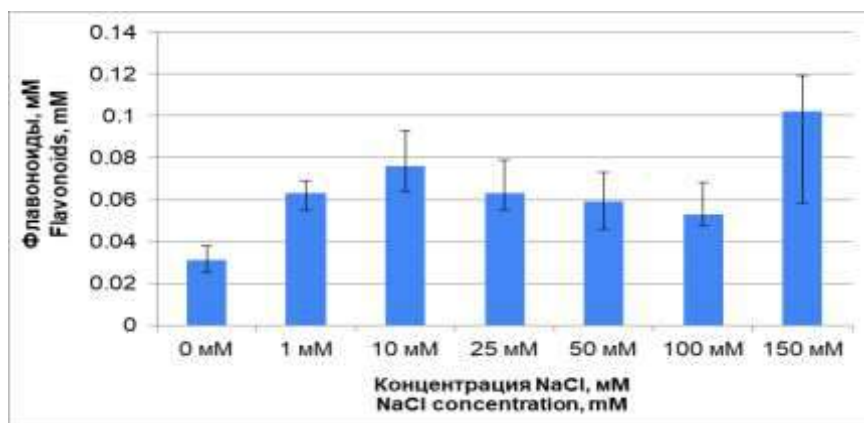


Рисунок 5 – Содержание флавоноидов в проростках семян робинии, выращенных при различных концентрациях NaCl. Данные представлены в виде медианы с указанием 95%-ного доверительного интервала

Figure 5 – Flavonoid content in robinia seedlings grown with various NaCl concentrations.

The data is presented as a median with a 95% confidence interval

Поскольку робиния содержит достаточно большие количества вторичных метаболитов, для выделения ДНК был использован экстракционный раствор с повышенным содержанием солей и добавкой поливинилпирролидона, который может инактивировать фенольные соединения. Подобный подход позволил выделить достаточные количества ДНК из всех проростков (таблица 2). Важным является не только наличие ДНК, но и возможность применения ее в молекулярно-генетических исследованиях. Поскольку многие методы включают в себя использование ПЦР, выделенные препараты ДНК не должны содержать в своем составе значимых количеств ингибиторов амплификации. Проведенный ПЦР анализ с универсальными праймерами к ITS2 показал, что все полученные препараты могут быть эффективно амплифицированы (таблица 2). Определение температуры плавления полученных ампликонов позволяет определить специфичность взаимодействия праймеров с целевой последовательностью ДНК. Если это условие соблюдается, то кривые плавления будут иметь совпадающие максимумы. На рисунке 6 приведены кривые плавления продуктов амплификации ДНК из проростков робинии. Все они обладают близкими максимумами температуры плавления – около 87,5 °C. Это подтверждает хорошее качество препаратов ДНК.

Таблица – Содержание ДНК в препаратах, полученных из проростков, которые росли при различной концентрации соли, и пороговый цикл амплификации (Ct)

Table – DNA content in germ-derived preparations that grew at different salt concentrations and threshold amplification cycle (Ct)

Концентрация NaCl / NaCl concentration	0 mM	1 mM	10 mM	50 mM	100 mM	150 mM
Концентрации ДНК, нг/мкл (мин-макс) / DNA concentration, ng/μl (min-max)	4-70	25-99	63-130	28-130	4-38	7-27
Ct (мин-макс) / (min-max)	20-25	20-25	20-23	21-25	19-22	16-21

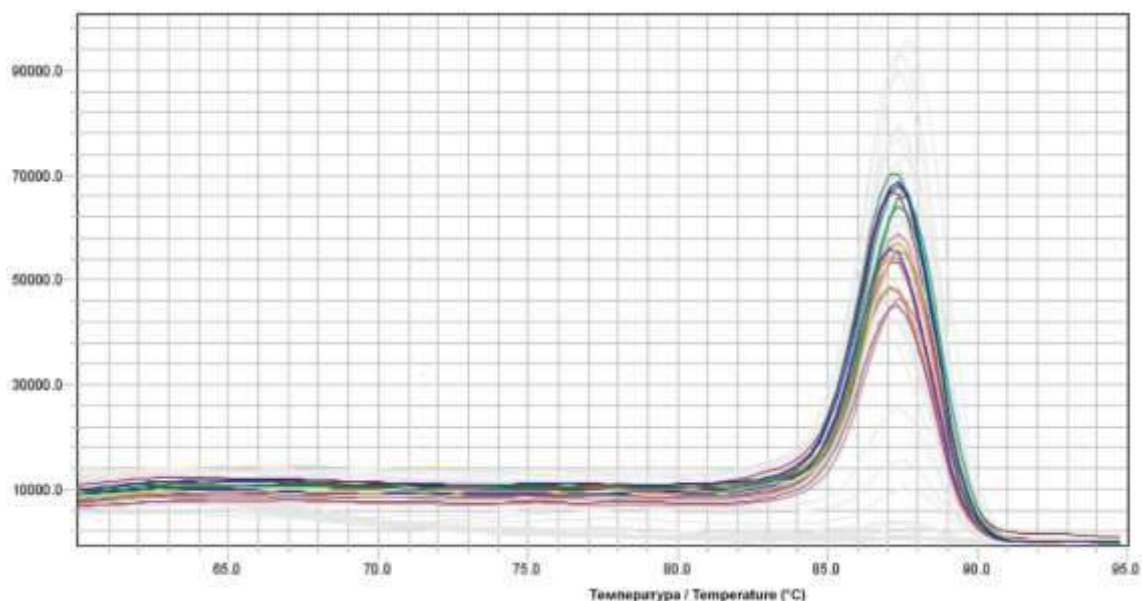


Рисунок 6 – Кривые плавления ампликонов, полученных при ПЦР анализе ДНК из проростков робинии по ядерному ДНК штрих-коду ITS2

Figure 6 – Melting curves obtained by PCR analysis of DNA from robinia seedlings using the ITS2 nuclear DNA barcode

Выводы. По результатам проведенных экспериментов было выявлено, что всхожесть семян робинии снижалась при увеличении концентрации NaCl. при выращивании в присутствии соли также наблюдались определенные изменения в морфологических характеристиках и биохимических показателях. Соотношение длин надземной части и корней проростков показало наиболее выраженное изменение: выявлена сильная отрицательная корреляция между этим показателем и концентрацией NaCl. Биохимические показатели изменялись в меньшей степени. Используемая методика выделения ДНК позволила получить препараты с приемлемым для молекулярно-генетических исследований качеством. Таким образом, полученные нами результаты подтвердили возможность использования разработанной системы для скрининга солеустойчивых растений робинии лжеакации на стадии прорастания и раннего развития.

Conclusions. Our experiments demonstrated that black locust seed germination capacity decreased with an increase in the concentration of NaCl (from 93% at 0 mM to 9% at 300 mM). Seedlings grown in the presence of NaCl had some morphological alterations and changes in the biochemical marker values. Strong negative correlation between NaCl concentration in irrigation water and aerial part length to root length ratio was observed. Biochemical markers were less sensitive to NaCl concentration elevation. Proposed DNA extraction method allowed to prepare DNA with good quality for molecular genetic research. Therefore, developed screening system could be used to find salt stress tolerant black locust seedling for following identification of stress tolerant genotypes.

Библиографический список / References

1. Ainsworth E. A., Gillespie K. M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*. 2007. V. 2. № 4. Pp. 875-877.
2. Eswar D., Karuppusamy R., Chellamuthu S. Drivers of soil salinity and their correlation with climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2021. V. 50. Pp. 310-318.
3. Gu J., Weina L., Akinagbe A., Wang J., Jia L., Yang M. Effect of salt stress on genetic diversity of *Robinia pseudoacacia* seedlings. *African Journal of Biotechnology*. 2012. V. 11. № 8. Pp. 1838-1847.
4. Isah T. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*. 2019. V. 29. № 52 (1). P. 39.

5. Liang H., Meng Z., Li Z., Liu G. The Effect of Robinia pseudoacacia Plantation on Soil Desiccation across Different Precipitation Zones of the Loess Plateau, China. *Forests*. 2022. V. 13. № 2. P. 321.
6. Liu L., Huang F.-L., Luo Q.-X., Pang H.-Y., Meng F.-J. cDNA- AFLP analysis of the response of tetraploid black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) to salt stress. *African Journal of Biotechnology*. 2012. V. 11. № 13. Pp. 3116-3124.
7. Liu S., Jiang Y., Guo X., Xu L., Lei P., Luo Q., Liu J., Li W., Tao L., Meng F. The lectin gene TRpL1 of tetraploid *Robinia pseudoacacia* L. response to salt stress. *Journal of Forestry Research*. 2022. doi:10.1007/s11676-022-01479-0.
8. Luo Q., Peng M., Zhang X., Lei P., Ji X., Chow W., Meng F., Sun G. Comparative mitochondrial proteomic, physiological, biochemical and ultrastructural profiling reveal factors underpinning salt tolerance in tetraploid black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *BMC Genomics*. 2017. V. 18. P. 648.
9. Mantovani D., Veste M., Böhm C., Vignudelli M., Freese D. Spatial and temporal variation of drought impact on black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) water status and growth. *iForest*. 2015. V. 8. Pp. 743-747.
10. Mao P., Zhang Y., Cao B., Guo L., Shao H., Cao Z., Jiang Q., Wang X. Physiological and Proteomic Responses of Diploid and Tetraploid Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Subjected to Salt Stress. *Int J Mol Sci*. 2013. V. 14. № 10. Pp. 20299-20325.
11. Mao P., Zhang Y., Cao B., Guo L., Shao H., Cao Z., Jiang Q., Wang X. Effects of salt stress on eco-physiological characteristics in *Robinia pseudoacacia* based on salt-soil rhizosphere. *Science of The Total Environment*. 2016. V. 568. Pp. 118-123.
12. Matić P., Sabljčić M., Jakobek L. Validation of spectrophotometric methods for the determination of total polyphenol and total flavonoid content. *Journal of AOAC International*. 2017. V. 100. Pp. 1795-1803.
13. Meng F., Luo Q., Wang Q., Zhang X., Qi Z., Xu F., Lei X., Cao Y., Soon Chow W., Sun G. Physiological and proteomic responses to salt stress in chloroplasts of diploid and tetraploid black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Scientific Reports*. 2016. V. 6. P. 23098.
14. Moorhouse-Gann R. J., Dunn J. C., de Vere N., Goder M., Cole N., Hipperson H., Symondson W. O. C. New universal ITS2 primers for high-resolution herbivory analyses using DNA metabarcoding in both tropical and temperate zones. *Scientific Reports*. 2018. V. 8. № 8542.
15. Nicolescu V. N., Rédei K., Mason W. L. et al. Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. *Journal of Forestry Research*. 2020. V. 31. Pp. 1081-1101.
16. Niu Ch., Kebede H., Auld D. L., Woodward J. E., Burow G., Wright R. J. A safe inexpensive method to isolate high quality plant and fungal DNA in an open laboratory environment. *African Journal of Biotechnology*. 2008. V. 7. № 16. Pp. 2818-2822.
17. Sahu S. K., Thangaraj M., Kathiresan K. DNA Extraction Protocol for Plants with High Levels of Secondary Metabolites and Polysaccharides without Using Liquid Nitrogen and Phenol. *ISRN Molecular Biology*. 2012. P. 205049.
18. Schrader C., Schielke A., Ellerbroek L., Johne R. PCR inhibitors – occurrence, properties and removal. *Journal of Applied Microbiology*. 2012. V. 113. № 5. Pp. 1014-1026.
19. Staruhina A. O., Popova A. S., Zaitsev V. G. The Quantification of Chlorophylls and Carotenoids in the Same Sample of an Individual Condition Assessment of Agricultural Plant's Seedlings. *Scientific Agronomy Journal*. 2021. V. 2. № 113. Pp. 18-22.
20. Uçarlı C. Effects of Salinity on Seed Germination and Early Seedling Stage. *Abiotic Stress in Plants*. London. IntechOpen. 2020.
21. Weina L., Haiyue J., Minsheng Y., Juntao G. Selection of salt-tolerance on *Robinia pseudoacacia* seedlings and impact of salt stress on seedlings physiological characteristics. *Journal of Agricultural University of Hebei*. 2010. V. 33. № 3. Pp. 62-66.

Информация об авторах

Бабакова Татьяна Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5593-0286>, e-mail: babakova-t@vfanc.ru

Фефелова Наталья Петровна, инженер-исследователь лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-6291>, e-mail: fefelova-n@vfanc.ru

Какоткина Маргарита Сергеевна, инженер-исследователь лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4068-0552>, e-mail: samycheva-ms@vfanc.ru

Матвеева София Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4290-2021>, e-mail: matveeva-s@vfanc.ru

Васильева Алёна Александровна, лаборант-исследователь лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4734-5300>, e-mail: vasilieva-aa@vfanc.ru

Попова Анна Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5983-4080>, e-mail: popova-a@vfanc.ru

Зайцев Валерий Геннадьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры биоинженерии и биоинформатики, ФГАОУ ВО Волгоградский государственный университет (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 100), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9191-2862>, e-mail: valeryzaitsev@gmail.com

Author's Information

Babakova Tatiana Sergeevna, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Selection, Federal Research Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forest Breeding of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5593-0286>, e-mail: babakova-t@vfanc.ru

Fefelova Natalya Petrovna, Research Engineer of the Laboratory of Molecular Selection of the Federal Research Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forest Breeding of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-6291>, e-mail: fefelova-n@vfanc.ru

Kakotkina Margarita Sergeevna, research engineer of the molecular selection laboratory of the Federal Research Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forest Breeding of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4068-0552>, e-mail: samycheva-ms@vfanc.ru

Matveeva Sofia Vladimirovna, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Selection, Federal Research Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forest Breeding of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4290-2021>, e-mail: matveeva-s@vfanc.ru

Vasilyeva Alyona Aleksandrovna, laboratory assistant-researcher of the laboratory of molecular selection of the Federal Research Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forest Breeding of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4734-5300>, e-mail: vasilieva-aa@vfanc.ru

Popova Anna Sergeevna, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Selection, Federal Research Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forest Breeding of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5983-4080>, e-mail: popova-a@vfanc.ru

Zaitsev Valery Gennadievich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Bioengineering and Bioinformatics, Volgograd State University (Russia, 400062, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 100), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9191-2862>, e-mail: valeryzaitsev@gmail.com

GEOINFORMATIONAL ANALYSIS OF THE LOCATION OF THE STATE PROTECTIVE FOREST BELTS ON THE TERRITORY OF THE SARATOV REGION

A. A. Vypritskiy

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

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

Received 18.07.2023

Submitted 13.11.2023

The work was carried out within the framework of the State Task of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences State Registration No. 122020100406-6 "Theoretical foundations and mathematical and cartographic models of the functioning of agroforestry systems in the protection of soils from deflation"

Abstract

Introduction. The main function of state protective forest belts is environmental formation. Most of the areas of state protective forest belts are agricultural land. The field protection functions performed by the state protective forest protect arable lands from deflation and water erosion, which lead to the removal of the fertile soil layer. Most of the state protective forest belts forest plantations have reached a high age, at which there is a decrease in their safety. The study of the current state of the sites of state protective forest belts is an urgent task for the implementation of subsequent restoration work to improve the indicators of a favorable impact on the surrounding agricultural landscapes. **Object.** The object of the study are three state protective forest belts in the Saratov region: two watershed – "Penza – Kamensk" and "Cherkessk – Chapaevsk"; one river-side on both banks of the Volga River – "Saratov – Astrakhan". **Materials and methods.** The contours of the project area were mapped using the QGIS 3.32 geographic information system using ultra-high resolution satellite images of the WorldView 3 mission and the Google Earth service. The assignment of attributes to the state protective forest sections by soil types was carried out after vectorization of the soil map of the Saratov region at a scale of 1:2 000 000. "Weather and climate", respectively. Information about the presence of fires at the state protective forest sites was obtained from the Vega-science service. **Results and conclusions.** Most of the sections of the Penza-Kamensk SPFB are located on chernozems, on chernozems with solonchaks, occupying an area of 3890.31 ha and 254.08 ha, respectively. Plots of the forest belt "Chapaevsk – Vladimirovka" in the amount of 3548.14 ha are located on chestnut soils, on dark chestnut soils 4963.80 ha, 1224.76 ha belong to chernozems, 105.03 ha lie on chestnut soils with solonchaks, 23 on chernozems with solonchaks, 07 ha, on alluvial 27.17 ha. The sections of the Saratov-Astrakhan state protective forest run through the following types of soils: chestnut – 121.75 ha; chestnut with salt licks – 363.89 ha; dark porridge – 1860.25 ha; chestnut salt licks – 7.61 ha; sands – 20.10 ha; chernozems 1876.25 ha; chernozems with solonchaks – 205.85 ha; chernozem solonchaks – 122.25 ha; other – 477.67 ha.

Key words: state protective forest belts, SPFB, remote sensing, geoinformation systems, satellite imagery, land mapping.

Citation. Vypritskiy A. A. Geoinformation analysis of the location of state protective forest belts on the territory of the Saratov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 203-211 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-21.

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

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

УДК 634.93:521

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ТЕРРИТОРИИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**А. А. Выприцкий**, младший научный сотрудник*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 госрегистрация
№ 122020100406-6 «Теоретические основы и математико-картографические модели
функционирования агролесомелиоративных систем в защите почв от дефляции»*

Актуальность. Большую часть прилегающих к территории ГЗЛП занимают сельскохозяйственные угодья. Основной функцией государственных защитных лесных полос является средообразование. Они защищают пашни от дефляции и водной эрозии, которые приводят к выносу плодородного слоя почвы. Большая часть лесных насаждений ГЗЛП достигла высокого возраста, при котором наблюдается снижение их сохранности. Исследование современного состояния участков государственных защитных лесных полос является актуальной задачей для выполнения последующих восстановительных работ, для улучшения показателей благоприятного влияния на окружающие агроландшафты. **Объект.** Объектом исследования являются три государственных защитные лесные полосы на территории Саратовской области: две водораздельные – «Пенза – Каменск» и «Черкесск – Чапаевск»; одна приречная по обоим берегам реки Волга – «Саратов – Астрахань». **Материалы и методы.** Картографирование контуров проектной площади производилось в геоинформационной системе QGIS 3.32 с использованием снимков сверхвысокого разрешения спутников миссии WorldView 3 и сервиса Google Earth. Присвоение атрибутов выделам ГЗЛП по типам почв производилась после векторизации почвенной карты Саратовской области масштабом 1:2 000 000. Среднегодовое и среднегодовые (в период с 2007 по 2022 год) климатические данные получены с информационного источника Climatic Research Unit Time-Series (CRU TS) и «Погоды и климат», соответственно. Информация о наличии пожаров на участках ГЗЛП получена с сервиса «Вега-science». **Результаты и выводы.** Большая часть выделов ГЗЛП «Пенза – Каменск» расположена на черноземах, на черноземах с солонцами, занимающих площадь 3890,31 га и 254,08 га соответственно. Участки лесной полосы «Чапаевск – Владимировка» площадью 3548,14 га расположены на каштановых почвах, на темно-каштановых – 4963,80 га, 1224,76 га относятся к черноземам, на каштановых с солонцами пролегают 105,03 га, на черноземах с солонцами 23,07 га, на аллювиальных 27,17 га. Выделы ГЗЛП «Саратов – Астрахань» расположены на следующих типах почв: каштановые – 121,75 га; каштановые с солонцами – 363,89 га; темно-каштановые – 1860,25 га; солонцы каштановые – 7,61 га; пески – 20,10 га; черноземы 1876,25 га; черноземы с солонцами – 205,85 га; солонцы черноземные – 122,25 га; прочее – 477,67 га.

Ключевые слова: государственные защитные лесные полосы, ГЗЛП, дистанционное зондирование, геоинформационные системы, космоснимки, картографирование земель.

Цитирование. Выприцкий А. А. Геоинформационный анализ расположения государственных защитных лесных полос на территории Саратовской области. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 203-211. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-21.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Автор настоящей статьи одобрил ее окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Государственные защитные лесные полосы (ГЗЛП) создавались по Постановлению Совета Министров СССР и ЦП ВКП(б) от 20 октября 1948 года «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов

дов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР», известного как «Сталинский план преобразования природы». Всего планировалось создать восемь ГЗЛП общей площадью около 120 тыс. га, три из которых располагаются на территории Саратовской области [1].

ГЗЛП выполняют следующие функции [1-8]:

- 1) полеззащитные функции для предотвращения потери плодородного слоя почвы;
- 2) защита от дефляции и водной эрозии;
- 3) средообразующая функция;
- 4) формирование устойчивых агролесоландшафтов.

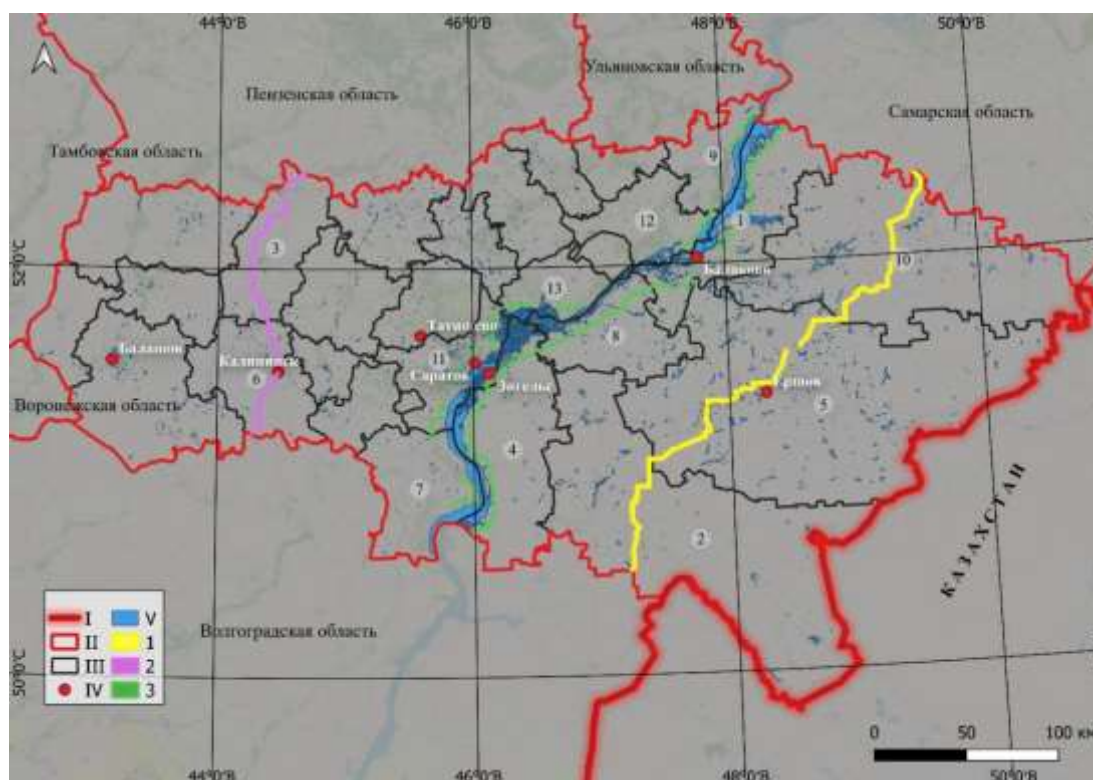


Рисунок 1 – Расположение ГЗЛП по лесничествам на территории Саратовской области (I – государственная граница; II – административные границы; III – границы лесничеств Саратовской области; IV – крупные населенные пункты; V – водные объекты; 1 – ГЗЛП «Чапаевск – Владимировка»; 2 – ГЗЛП «Пенза – Каменск», 3 – ГЗЛП «Саратов – Астрахань»)
Figure 1 – Location of the state protective forest belts for forest areas on the territory of the Saratov region (I – state border; II – administrative borders; III – borders of forest areas of the Saratov region; IV – large settlements; V – water bodies; 1 – state protective forest belts "Chapaevsk – Vladimirovka"; 2 – state protective forest belts "Penza – Kamensk", 3 – state protective forest belts "Saratov – Astrakhan")

На территории Саратовской области в государственных защитных лесных полосах встречаются следующие породы: *Pinus* – 0,6%; *Quercus robur* – 44,6%; *Fraxinus excelsior* – 16,9%; *Acer* – 1,2%; *Ulmus pumila* – 29,5%; *Betula* – 5,4%; *Populus tremula* – 1,8% [1]. В работах Манаенкова и Костина 2007 и 2009 годов описаны состояния древостоев достигающих предельного возраста (60-70 лет). Исследование современного состояния участков государственных защитных лесных полос является актуальной задачей для выполнения последующих восстановительных работ, для улучшения показателей благоприятного влияния на окружающие агроландшафты.

ГЗЛП пролегают через следующие лесничества Саратовской области: Балаковское, Дьяковское, Екатериновское, Энгельское, Ершовское, Калининское, Красноармейское, Марковское, Пугачевское, Саратовское, Вольское, Вязовское и через национальный парк «Хвалынский».

Материалы и методы. На территории Саратовской области пролегают 3 ГЗЛП. Две из них водораздельные: «Пенза – Каменск», «Чапаевск – Владимировка»; одна приречная по обоим берегам реки Волга: «Саратов – Астрахань». Согласно лесному плану Саратовской области на 1 января 2022 года площадь государственных защитных лесных полос равна 19,1 тыс. га (Лесной план Саратовской области на 2019-2028 гг.: постановление губернатора Саратовской области № 590 от 29.12.2018 г.), по данным литературных источников 22 тыс. га, 19,1 тыс. га из которых покрыты лесной растительностью [1].

Картографирование выделов ГЗЛП, зональная статистика, оцифровка растровых изображений почвенной карты и карты лесничеств Саратовской области проводились в геоинформационной системе QGIS 3.32. Для подготовки контуров выделов лесной полосы использовались данные спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения WorldView 3 и сервиса Google Earth, а также «Карты-схемы распределения лесов по целевому назначению, расположения особо охраняемых природных территорий» Саратовской области в масштабе 1:2 000 000.

Данные о наличии пожаров на период с 2007 года по 2022 год на территории исследования были получены с помощью сервиса «Вега-science» [9], поставляющего данные продукта MODIS с разрешением 250 метров. Растровое изображение было переведено в векторное, что позволило выявить количество площади государственных защитных лесных полос, пройденное пожарами.

Благодаря зональной статистике и климатическим данным глобального информационного продукта Climatic Research Unit Time-Series (CRU TS), содержащего в себе растровые данные о среднемесячных температурах воздуха и осадках [10], также были подсчитаны среднегодовые осадки с 1980 по 2020 гг. Каждому выделу ГЗЛП был присвоен атрибут о температуре и осадках для дальнейшего анализа. Для оценки влияния средних сумм осадков по годам с 2007 по 2022 на количество площади, пройденной пожарами, были использованы данные «Погода и климат» [11].

Отсканированная почвенная карта Саратовской области в масштабе 1:2 000 000 [12] была географически привязана и вручную подготовлена с контурами о подтипах почв, что дало возможность присвоить атрибут о типах почв на подготовленные выделы ГЗЛП.

Растровые данные цифровой модели местности SRTM-1 были получены с помощью службы геологической съемки США (USGS) – Earth Explorer. Модулем растрового фильтра в QGIS были отфильтрованы и сглажены артефакты на растровом изображении, с помощью инструмента «Зональная статистика» на выделы ГЗЛП были присвоены атрибуты крутизны склона и высоты над уровнем моря.

Статистический анализ полученных данных проводился в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. При картографировании контуров ГЗЛП площадь полученных выделов составила 19092,2 га, что является схожим с данными лесного плана на 99,96%. Площадь выделов ГЗЛП «Пенза – Каменск», по выбранной методике, составила 4144,57 га, лесной полосы «Чапаевск – Владимировка» – 9891,97 га, приречной полосы «Саратов – Астрахань» составила 5055,63 га. Распределение площади выделов по лесничествам представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение площади выделов ГЗЛП по лесничествам на территории Саратовской области

Table 1 – Distribution of the area of state protective forest allotments by forest areas in the Saratov region

Номер на карте	Название лесничества	Площадь, га
1	Балаковское	1058,31
2	Дьяковское	2222,06
3	Екатериновское	2605,13
4	Энгельское	1201,74
5	Ершовское	4348,33
6	Калининское	1539,45
7	Красноармейское	316,38
8	Марковское	817,86
9	Национальный парк Хвалынский	390,83
10	Пугачевское	3337,2
11	Саратовское	565,57
12	Вольское	280,62
13	Вязовское	408,69

Благодаря цифровой модели местности SRTM-1 с секундным разрешением получены геоморфологические характеристики выделов ГЗЛП, влияющие на смыв плодородного слоя и на определенных почвах и влияющие на сохранность лесных насаждений государственных защитных лесных полос [12] (Почвенная карта Саратовской области (М 1: 2 000 000) / под ред. А.Н. Чумаченко. Саратовский государственный университет, 2013).

Таблица 2 – Геоморфологические характеристики выделов ГЗЛП на территории Саратовской области, га

Table 2 – Geomorphological characteristics of state protective forest units in the Saratov region, ha

Высота над уровнем моря, м	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250
	3170,29	5790,28	5225,26	719,41	4186,94
Крутизна склона, °	0-1	1-2	2-4	4 и более	
	2225,89	12692,93	4094,50	78,86	
Всего					19092,2

Атрибуты, присвоенные с помощью контуров оцифрованной почвенной карты Саратовской области и климатических данных CRU TS, предоставили возможность определить почвенно-климатические условия государственных защитных лесных полос, которые являются одним из важных факторов, влияющих на состояние лесных насаждений [6].

Климатические данные с «Погода и климат» и данные о наличии пожаров с сервиса «Вега-science» позволили вычислить среднегодовые суммы осадков и построить корреляционную связь между площадью пожаров на участках ГЗЛП. Суммы осадков рассчитывались из данных с 19 метеостанций на территории Саратовской области: Александров Гай, Аткарск, Балаково, Балашов, Ершов, Калининск, Карабулак, Маркс, Новоузенск, Озинки, Октябрьский Городок, Перелюб, Петровск, Пугачев, Росташа, Ртищево, Саратов, Сплавнуха, Хвалынский. Коэффициент корреляции между среднегодовыми суммами осадков и площадью пожарами на участках ГЗЛП составил -0,14, что показывает отсутствие прямого влияния данного фактора на площади пройденных пожаров на выделах лесных полос.

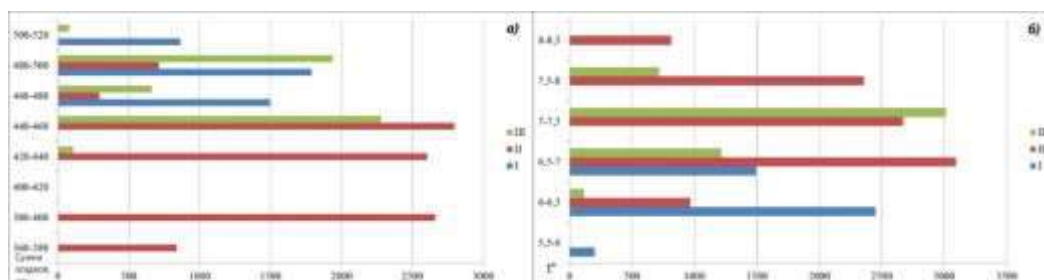


Рисунок 2 – Площадь выделов ГЗЛП на территории Саратовской области, распределенные по среднееголетней годовой сумме осадков (а) и по среднееголетней температуре воздуха (б) в период с 1980 по 2020 гг. (I – «Пенза – Каменск»; II – «Чапаевск – Владимировка»; III – «Саратов – Астрахань»)

Figure 2 – The area of state protective forest stands on the territory of the Saratov region, distributed by the average long-term annual precipitation (a) and by the average long-term air temperature (b) in the period from 1980 to 2020 (I – "Penza – Kamensk"; II – "Chapaevsk – Vladimirovka"; III – "Saratov – Astrakhan")

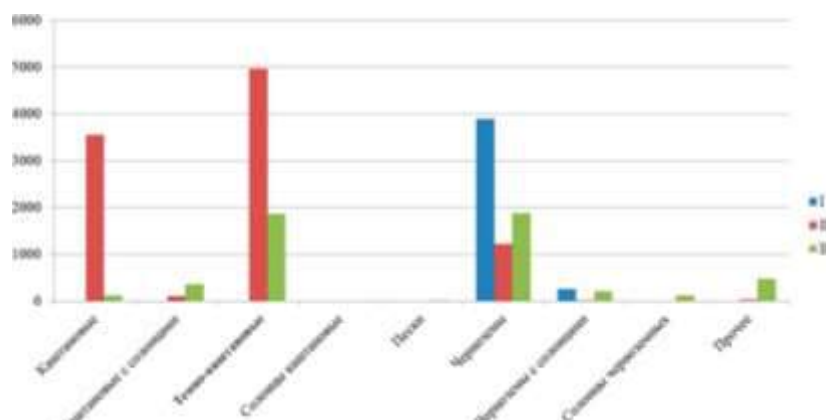


Рисунок 3 – Распределение выделов ГЗЛП по типам почв (I – «Пенза – Каменск»; II – «Чапаевск – Владимировка»; III – «Саратов – Астрахань»)

Figure 3 – Distribution of state protective forest sections by soil types (I – "Penza – Kamensk"; II – "Chapaevsk – Vladimirovka"; III – "Saratov – Astrakhan")

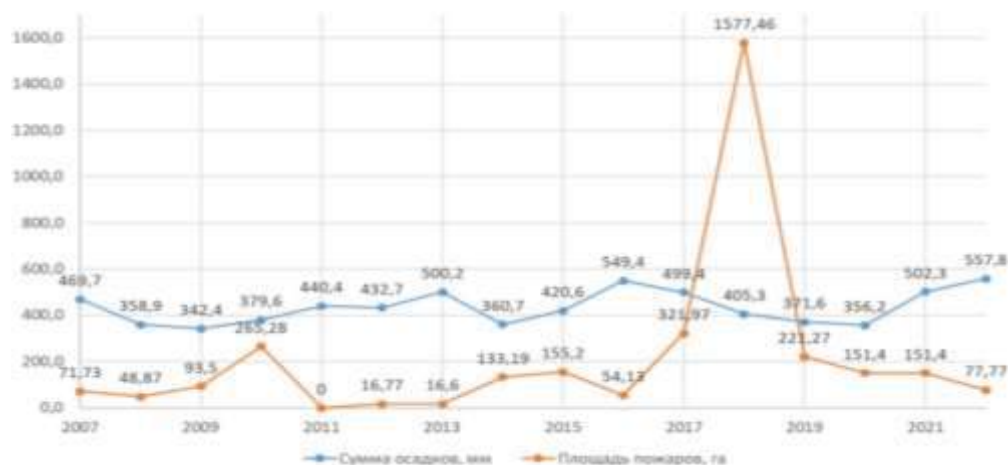


Рисунок 4 – Среднегодовые суммы осадков и площадь пройденная пожарами на участках ГЗЛП на территории Саратовской области

Figure 4 – Average annual precipitation and the area covered by fires at the state protective forest sites in the Saratov region

Закключение. При геоморфологическом анализе выделов ГЗЛП на территории Саратовской области были получены данные о расположении по высоте над уровнем моря: 16,6% от всей площади ГЗЛП находится на высоте от 0 до 50 метров; 30,32% на высоте 50-100 метров; на высотах от 100 до 150 метров расположены 3,76% от общей площади; на высотах 200-250 метров пролегают 21,93% выделов. Участки с крутизной склона от 0° до 1° составляют 2225,89 га, большая часть насаждений расположена на участках от 1° до 2° общей площадью 12692,93 га, участки подверженные водной эрозии с углом наклона от 2° и более занимают 4173,36 га, что составляет 21,86% от всей площади ГЗЛП на территории Саратовской области.

Благодаря почвенной карте Саратовской области были получены следующие результаты. Большая часть выделов ГЗЛП «Пенза – Каменск» расположена на черноземах, на черноземах с солонцами, занимающих площадь 3890,31 га и 254,08 соответственно. Участки лесной полосы «Чапаевск – Владимировка» в количестве 3548,14 га расположены на каштановых почвах, на темно-каштановых 4963,80 га, 1224,76 га относятся к черноземам, на каштановых с солонцами пролегают 105,03 га, на черноземах с солонцами 23,07 га, на аллювиальных 27,17 га. Выделы ГЗЛП «Саратов – Астрахань» пролегают через следующие типы почв: каштановые – 121,75 га; каштановые с солонцами – 363, 89 га; темно-каштановые – 1860,25 га; солонцы каштановые – 7,61 га; пески – 20,10 га; черноземы 1876,25 га; черноземы с солонцами – 205,85 га; солонцы черноземных – 122,25 га; прочее – 477,67 га.

Максимальная площадь, затронутая пожарами, наблюдалась в 2018 году и составила 1577,46 га, что составляет 8,26% от общей площади ГЗЛП, среднегодовая сумма осадков на данный период составляет 405,3 мм. Минимальная площадь, пройденная пожарами в период исследования, наблюдалась в 2011 году – 0 га, при 440,4 мм осадков. Корреляционная связь годовых сумм осадков и площади пожаров на участках ГЗЛП составила – 0,14, что демонстрирует отсутствие связи между ними.

Достигнутые результаты открывают возможность для дальнейшего анализа сохранности выделов ГЗЛП на территории Саратовской области, а также для последующей оценки состояния с помощью полевых исследований.

Conclusions. During the geomorphological analysis of state protective forest excretions in the Saratov region, data were obtained on the location by height above sea level: 16.6% of the total area of the state protective forest is at an altitude of 0 to 50 meters; 30.32% at an altitude of 50-100 meters; 3.76% of the total area are located at altitudes from 100 to 150 meters; at altitudes of 200-250 meters, 21.93% of emissions lie. Areas with slope steepness from 0° to 1° are 2225.89 hectares, most of the plantations are located in areas from 1° to 2° with a total area of 12692.93 hectares, areas subject to water erosion with an inclination angle of 2 ° or more occupy 4173.36 hectares, which is 21.86% of the entire area of the State Reserve for Natural Resources in the territory of the Saratov region.

Thanks to the soil map of the Saratov region, the following results were obtained. Most of the allocations of the Penza-Kamensk state protective forest are located on chernozems, on chernozems with solonets, covering an area of 3890.31 hectares and 254.08, respectively. Sections of the forest strip "Chapaevsk – Vladimirovka" in the amount of 3548.14 hectares are located on chestnut soils, on dark chestnut 4963.80 hectares, 1224.76 hectares belong to chernozems, on chestnut with solonets there are 105.03 hectares, on chernozems with solonets 23.07 hectares, on alluvial 27.17 hectares. The secretions of the Saratov-Astrakhan State Budgetary Enterprise run through the following types of soils: chestnut – 121.75 ha; chestnut with corns – 363, 89 ha; dark chestnut – 1860.25 ha; chestnut solonets – 7.61 ha; sands – 20.10 ha; chernozems 1876.25 ha; chernozems with solonets – 205.85 ha; black-earth solonets – 122.25 ha; other – 477.67 ha.

The maximum area affected by the fires was observed in 2018 and amounted to 1577.46 hectares, which is 8.26% of the total area of the state protective forest, the average annual rainfall for this period is 405.3 mm. The minimum area covered by fires during the study period was observed in 2011 – 0 hectares, with 440.4 mm of precipitation. The correlation between annual precipitation and fire areas in the state protective forest areas was – 0.14, which demonstrates that there is no connection between them.

The achieved results open the possibility for further analysis of the safety obtained during the work, the allocation of state protective forest in the territory of the Saratov region, as well as for subsequent assessment of the condition using field studies.

Библиографический список

1. Засоба В. В., Чеплянский И. Я., Поповичев В. В. Семидесятилетний опыт создания государственных защитных лесных полос в степной зоне России. Живые и биокосные системы. 2019. № 27. С. 3.
2. Кулик К. Н., Пугачёва А. М. Лесомелиорация – основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 29–40.
3. Барабанов А. Т., Панов В. И. Преобразование гидрологического режима агроландшафтов защитными лесными насаждениями. Живые и биокосные системы. 2016. № 16. С. 6.
4. Таранов Н. Н., Синельникова К. П. Анализ сохранности государственной лесной полосы Камышин-Волгоград, методами ретроспективы и ГИС технологий. Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов: сборник статей VII всероссийской с международным участием научно-практической конференции. 2017. С. 389-393.
5. Антонов С. А. Анализ пространственного положения защитных лесных насаждений на основе геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования земли. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. № 2. С. 408-420.
6. Выприцкий А. А., Шинкаренко С. С. Анализ влияния почвенно-климатических условий на сохранность государственных защитных лесных полос на основе данных Sentinel-2. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 147-163.
7. Троц В. Б. Влияние полезащитных лесных полос на состояние и продуктивность агроландшафта. Аграрная Россия. 2017. № 11. С. 19-22/
8. Чевердин Ю. И., Беспалов В. А., Титова Т. В. Варьирование основных морфометрических характеристик черноземов каменной степи под влиянием антропогенного воздействия. Аграрная Россия. 2017. № 12. С. 3-10.
9. 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. Vol. 14. №. 1. P. 77.
10. Harris I., Osborn T. J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. Scientific data. 2020. No. 7. 109 p.
11. Матвеев Ш. Геоинформационный анализ основных источников климатической информации на территорию Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 81-85.
12. Выприцкий А. А. Анализ влияния геоморфологических характеристик территорий на сохранность государственных защитных лесных полос. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 261-271.

References

1. Zasoba V. V., Cheplyansky I. Ya., Popovichev V. V. Seventy years of experience in creating state protective forest strips in the steppe zone of Russia. Living and biocose systems. 2019. № 27. P. 3.
2. Kulik K. N., Pugacheva A. M. Lesomelioration is the basis for the creation of stable agroland shafts in conditions of insufficient moisture. Forest Engineering Journal. 2016. V. 6. № 3 (23). Pp. 29-40
3. Barabanov A. T., Panov V. I. Transformation of the hydrological regime of agroland shafts with protective forest plantations. Living and biocose systems. 2016. № 16. P. 6.
4. Taranov N. N., Sinelnikova K. P. Analysis of the safety of the state forest strip Kamyshin-Volgograd, methods of retrospective and GIS technologies. Study, preservation and restoration of natural landscapes: a collection of articles of the VII All-Russian with the international participation of a scientific and practical conference. 2017. Pp. 389-393.
5. Antonov S. A. Analysis of the spatial position of protective forest plantations based on geo-information technologies and data from remote sensing of the earth. InterCarto. InterGIS. 2020. V. 26. № 2. Pp. 408-420.
6. Izpritsky A. A., Shinkarenko S. S. Analysis of the influence of soil and climatic conditions on the safety of state protective forest strips based on Sentinel-2 data. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2022. V. 19. № 5. Pp. 147-163.

7. Trotz V. B. The influence of field-protecting forest strips on the condition and productivity of the agrolandscape. *Agrarian Russia*. 2017. № 11. Pp. 19-22.
8. Cheverdin Yu. I., Bessalov V. A., Titova T. V. Variation of the main morphometric characteristics of the chernozems of the stone steppe under the influence of anthropogenic influence. *Agrarian Russia*. 2017. № 12. Pp. 3-10.
9. 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. Vol. 14. №. 1. P. 77.
10. Harris I., Osborn T. J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific data*. 2020. No. 7. p. 109.
11. Matveev Sh. Geo-information analysis of the main sources of climatic information on the territory of the Volgograd region. *Scientific and agronomic journal*. 2022. № 3 (118). Pp. 81-85.
12. Vygnitsky A. A. Analysis of the influence of geomorphological characteristics of territories on the safety of state protective forest strips. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2023. № 1 (69). Pp. 261-271.

Информация об авторе

Выприцкий Артем Алексеевич, младший научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 1/ 97), ORCID: 0000-0002-3095-6834, e-mail: vypritskiy-a@vfanc.ru

Author's Information

Vypritskiy Artem Alekseevich, Junior Researcher of the Laboratory of Geoinformational Modeling and Mapping of Agroforestry, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr. Universitetskiy, 97), ORCID: 0000-0002-3095-6834, e-mail: vypritskiy-a@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-22

X-RAY ANALYSIS OF SEED MATERIAL OF WOODY AND SHRUB SPECIES PROMISING IN PROTECTIVE AFFORESTATION

E. L. Grichik, O. O. Zholobova, A. V. Solonkin, A. M. Pugacheva, A. I. Belyaev

*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: grichik-e@vfanc.ru

Received 20.09.2023

Submitted 30.11.2023

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 РАН № 122020100427-1 "Develop the scientific basis for the conservation and reproduction of valuable genotypes of trees and shrubs in in vitro culture"

Summary

Information about the method of digital microfocus radiography of tree seeds is given. Data on morphological parameters of seeds of three species of tree species *Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop. are presented. The analysis of seed quality for the presence of various defects was carried out by the method of digital microfocus radiography.

Abstract

Introduction. Relevance. The issue of conservation and restoration of forests is becoming increasingly relevant in the light of climate change and increased consumption of wood resources. High-quality seed material is the main and key factor for successful breeding and restoration of forests. The seed material of tree species is the basis for obtaining highly productive and healthy forest plantations. It plays a crucial role in the formation of the genetic basis of trees, and ultimately determines their quality, resistance to stressful conditions. The method of digital microfocus radiography of seeds is an effective tool for assessing the quality and potential viability of seeds. The method

allows to determine the internal structure, density of seeds and their defects. **Object.** The objects of the study were seeds of three species of tree and shrub species (*Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop.) and digital X-ray images. **Materials and research methods.** The research was carried out on the basis of the biotechnology laboratory of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. Seeds of tree species promising in protective afforestation, agroforestry and landscaping were selected for analysis. The seed material was collected on the territory of the collection site of the Kirovsky Forestry SSC (Volgograd) in 2022. Digital microfocus X-ray analysis of seeds was carried out on the software and hardware complex of the mobile X-ray diagnostic unit PRDU-02 for seed quality control. The results were statistically processed using the MS Excel 2016 software package and were presented as an arithmetic mean, taking into account the error of the mean. The comparison of the obtained results with each other was carried out according to the Mann-Whitney U-criterion. The differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. **Results and conclusions.** The obtained data of the X-ray analysis of the studied species of tree and shrub species made it possible to assess the quality of the seed material without injuring them with the possibility of further use. The main and most common defects are non-fulfillment of seeds, frailty and damage by pests. The nature of defects in seeds has an individual character, this is due to the specific characteristics of plants and the climatic zone of growth. The maximum indicators of high-quality seeds were noted in *G. triacanthos* – 78%, while 20% were damaged by insects. Visually, no damage was noticed on the seeds of *R. pseudoacacia* – 70% of normally executed seeds, 8% unfulfilled and puny, and 14% damaged by insects. In comparison with other species, *C. coggygria* has a high percentage of unfulfilled seeds – 12% and puny seeds – 24%. Using the example of the seeds under study, it can be concluded that for each species it is individually necessary to select certain shooting parameters: magnification factor, time exposure and voltage (kV). X-ray analysis can be recommended as an express method for determining the quality of seed material of tree and shrub species.

Key words: seed diversity, tree species, digital radiography, morphometric parameters of seeds.

Citation. Grichik E. L., Zholobova O. O., Solonkin A. V., Pugacheva A. M., Belyaev A. I. X-ray analysis of seed material of woody and shrub species promising in protective afforestation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 211-223 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-22.

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 that there is no conflict of interest.

УДК 630+632.03+539.261

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ ВИДОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ В ЗАЩИТНОМ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИИ

Е. Л. Гричик, аспирант, младший научный сотрудник

О. О. Жолобова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

А. В. Солонкин, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

А. М. Пугачёва, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь

А. И. Беляев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»
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. Вопрос сохранения и восстановления лесных массивов становится все более актуальным в свете изменения климата и увеличения потребления древесных ресурсов. Качественный семенной материал является основным и ключевым фактором для успешного разведения и восстановления лесов. Семенной материал древесных пород явля-

ется основой для получения высокопродуктивных и здоровых лесных насаждений, играет решающую роль в формировании генетической основы деревьев и в конечном итоге определяет их качество, устойчивость к стрессовым условиям. Метод цифровой микрофокусной рентгенографии семян является эффективным инструментом для оценки качества и потенциальной жизнеспособности семян. Метод позволяет определить внутреннюю структуру, плотность семян и их дефекты. **Объекты исследования.** Объектами исследования являлись семена трех видов древесно-кустарниковых пород (*Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygia* Scop.) и цифровые рентген снимки. **Методы исследования.** Исследования проведены на базе лаборатории биотехнологий Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук. Для анализа были выбраны семена древесных пород, перспективных в защитном лесоразведении, агролесомелиорации и озеленении. Семенной материал собран на территории коллекционного участка ССК Кировского лесничества (г. Волгоград) в 2022 году. Цифровой микрофокусный рентген анализ семян проводили на программно-аппаратном комплексе передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02 для контроля качества семян. Результаты подвергались статистической обработке с использованием пакета программ MS Excel 2016 и были представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Сравнение полученных результатов между собой проводилось по U-критерию Манна-Уитни. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$. **Результаты и выводы.** Полученные данные рентгенографического анализа исследуемых видов древесно-кустарниковых пород позволили оценить качество семенного материала, не травмируя их с возможностью дальнейшего использования. Основные и часто встречаемые дефекты – это невыполненность семян, щуплость и поврежденность вредителями. Природа дефектов у семян имеет индивидуальный характер, это связано с видовыми особенностями растений и климатической зоной произрастания. Максимальные показатели качественных семян отмечены у *G. triacanthos* – 78%, при этом 20% были повреждены насекомыми. Визуально не было замечено повреждений на семенах *R. pseudoacacia* – нормально выполненных семян 70%, невыполненных и щуплых 8% и поврежденных насекомыми 14%. В сравнении с другими видами у *C. coggygia* высокий процент невыполненных – 12% и щуплых семян – 24%. На примере исследуемых семян можно сделать вывод, что для каждого вида индивидуально нужно подобрать определенные параметры съемки: коэффициент увеличения, временную экспозицию и напряжение (кВ). Рентгенографический анализ можно рекомендовать в качестве экспресс-метода определения качества семенного материала древесно-кустарниковых пород.

Ключевые слова: разнокачественность семян, древесные породы, цифровая рентгенография, морфометрические параметры семян.

Цитирование. Гричик Е. Л., Жолобова О. О., Солонкин А. В., Пугачёва А. М., Беляев А. И. Рентгенографический анализ семенного материала древесных и кустарниковых видов, перспективных в защитном лесоразведении. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 211-223. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-22.

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 современном мире, где экологические вопросы становятся все более актуальными, особенно в контексте изменения климата и сохранения биологического разнообразия, важно обратить внимание на качество семенного материала древесных пород. Этот аспект играет важную роль в процессе восстановления лесов и создании устойчивых экосистем [5].

Качество семян древесных пород значительно влияет на успешность лесовосстановления и посадки новых насаждений. Правильно выбранные и обработанные семена

гарантируют быстрый рост и здоровое развитие растений, что в свою очередь обеспечивает экологическую устойчивость и развитие лесных массивов [4].

При выборе семенного материала необходимо учитывать множество факторов, таких как происхождение древесных пород, генотипы, географическую принадлежность и экологические требования к данному виду деревьев. Каждая порода имеет свои особенности, и использование некачественного семенного материала может привести к нежелательным результатам, таким как низкая выживаемость растений, пониженная продуктивность и подверженность различным болезням и вредителям [1].

Цифровая микрофокусная рентгеновская установка для рентгена семян – инновационное устройство, разработанное специально для детального и надежного исследования семян различных растений. Благодаря применению передовых цифровых технологий и высококачественной оптики эта установка обеспечивает высокую точность и четкость получаемых изображений, позволяя исследователям проводить глубокий анализ структуры и состояния семян [14].

Одной из ключевых особенностей этой установки является ее цифровизация, что позволяет автоматизировать процесс получения и обработки рентгеновских снимков. Пользователи могут легко управлять установкой с помощью специального программного обеспечения, выбирая необходимые настройки и получая результаты исследований в кратчайшие сроки [12].

Метод рентгенографии семян подробно описан в зарубежной и отечественной литературе [6, 7, 8, 9, 10, 12]. С помощью рентгенографии можно увидеть все структурные дефекты исследуемых семян, такие как травмированность или отсутствие зародыша (эндосперма), щуплость, трещиноватость, поврежденность насекомыми, отслоение семенной кожуры и другие различные травмы [2].

Методика цифровой микрофокусной рентгенографии может быть использована для семян разной плотности и размера. В 2015-2016 году на базе Санкт-Петербургского электротехнического университета были проведены исследования для контроля качества семян плодовых культур [3]. В исследованиях А. Dantas de Medeiros и его коллег [13, 15] методом рентгенографии была выявлена связь внутренней морфологии и физиологических качеств семян *Leucaena leucosephala*, а также проводились оценка и анализ физиологического качества семян, основанных на рентгеновских снимках. Исследование проводилось путем анализа рентгенографических изображений семян, по которым был получен процент поврежденных семян (вредителями и грибами), а также измерений площади, периметра, округлости, относительной плотности и интегральной плотности семян. Рентгенографический метод позволил визуализировать детали внутреннего строения семян и различия в плотности тканей.

В своих исследованиях Karamysheva A. и ее коллеги подробно рассматривают и изучают полноту семян *Pinus pumila* (Pall.) Regel методом микрофокусной рентгенографии для прогнозирования их посевных качеств. Исследователями было доказано, что метод микрофокусной рентгенографии в сочетании с автоматическим анализом цифровых рентгеновских изображений может быть эффективным инструментом для быстрого определения качества семян. Полученные данные показали, что семена *Pinus pumila*, собранные с растений, интродуцированных на северо-западе России, по большинству параметров не уступают и даже превосходят семена с естественных мест произрастания [9].

М. V. Arkhipov, L. P. Gusakova и др. в 2019 году провели исследование по выявлению скрытых дефектов в семенах древесных лесных пород и других видов сосудистых растений. В исследовании проведена сравнительная оценка рентгеновских снимков и всхожести как интегральных показателей для оценки биологической полезности семян. Семена с пустым зерном и частично с полным зерном имеют меньшую среднюю

яркость на рентгенограмме [11].

Зарубежные ученые М. Tamyris, Z. Tadeu, T. Yanara и др. провели масштабное исследование, где было рассмотрено качество семян находящегося под угрозой исчезновения тропического вида пальмы (*Euterpe edulis Martius*), оцененные с помощью визуализации и рентгеновской денситометрии. С помощью метода ученым удалось получить рентгеновские снимки семян, на которых видны повреждения от обезвоживания, механические повреждения околоплодника и естественное снижение влажности семян [10].

Целью данного исследования являлось изучение полноты семян и их скрытых дефектов трех видов древесно-кустарниковых пород (*Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop.) методом микрофокусной рентгенографии для прогнозирования их посевных качеств. Задачи исследования: выявить и проанализировать скрытые дефекты образцов семян методом микрофокусной рентгенографии в сочетании с анализом цифровых рентгеновских изображений, оценить морфометрические показатели семенного материала.

Материалы и методы. Исследования проводились на базе лаборатории биотехнологий Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук. Для анализа были выбраны семена древесных пород, перспективных в защитном лесоразведении, агролесомелиорации и озеленении: *Gleditsia triacanthos* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Cotinus coggygria* Scop. (таблица 1), собранные на территории коллекционного участка ССК Кировского лесничества (г. Волгоград) в 2022 году. Собранный семенной материал хранился в холодильнике при температуре +3-5 °С в бумажных пакетах.

Таблица 1 – Характеристика семян, используемых в исследовании

Table 1 – Characteristics of seeds used in the study

Показатели	<i>G. triacanthos</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>C. coggygria</i>
Форма	эллиптическая	почковидная	почковидная
Окраска	темно-коричневая, желтоватая	пестрая, коричневая или темно-коричневая	коричневая
Семенная кожура	глянцевая, с очень твердой семенной кожурой	гладкая блестящая или матовая семенная кожура	семена покрыты продольными жилками
Предпосевная обработка	скарификация кипятком с последующим выдерживанием в теплой воде 6-18 ч	скарификация кипятком при 90 °С до полного остывания воды	стратификация при +3-5°С в течение 90-120 дней

Цифровой микрофокусный рентген анализ семян проводили на программно-аппаратном комплексе передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 для контроля качества семян (ЭЛТЕХ-Мед, ЗАО, г. Санкт-Петербург, Россия) [3].

Метод основан на использовании рентгеновского излучения, которое проникает внутрь семени и фиксирует его внутреннюю структуру. По результатам снимка можно оценить качество семени, определить наличие внутренних дефектов, таких как: нормально выполненные семена, невыполненные семена, щуплые, поврежденные насекомыми, травмированные и т.д. [16].

Нормально выполненные семена – это семена без каких-либо видимых дефектов. Все морфологически обусловленные внутренние структуры без затемнений с четко очерченными краями.

Невыполненные семена – отличаются неправильной формой и внутренней структурой, имеют частичное отсутствие структур. Проекция частей семени выглядят угловатыми и затемненными.

Щуплые семена – внутренние части семени имеют угловатые очертания и вмятины. Также семена, утратившие ткани более чем на ½ в случае обезвоживания или вы-

сыхания.

Поврежденность насекомыми – на снимке четко видны каналы или полости, выеденные насекомыми. В некоторых случаях видны светлые проекции личинок.

Этот метод обладает преимуществами перед другими: он не портит семена, не возникает необходимость их разрушения, а также рентгенографическое исследование можно провести в любое время года [7].

Возможности рентгеновской установки позволяют настроить коэффициент увеличения от 1,3 до 8,3, напряжение 30-50 кВ, временную экспозицию от 1 до 5 секунд. В таблице 2 приведены оптимальные режимы съемки для каждого исследуемого вида, подобранные экспериментальным путем. Светлое изображение на рентгеновском снимке имеют хорошо выполненные жизнеспособные семена, тогда как повреждения и различные дефекты в силу слабого поглощения рентген излучения дают на изображении затемненные участки.

Отбор средних проб семян проводили по ГОСТ 13056.1-67. Семена по 50 штук размещали на бумажный скотч с картонной рамкой в 1 см. Массу 1000 семян определяли по ГОСТ 13056.4-67.

Таблица 2 – Режимы съемки семян древесных пород

Table 2 – Shooting modes of tree seeds

Параметры	<i>G. triacanthos</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>C. cogglygia</i>
Напряжение, кВ	40	50	50
Экспозиция, сек	2	1	1
Коэффициент увеличения	4.2	5.3	6.1

Результаты подвергались статистической обработке с использованием пакета программ MS Excel 2016 и были представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Сравнение полученных результатов между собой проводилось по U-критерию Манна-Уитни. Статистически значимыми считались различия при $p < 0.05$.

Результаты и обсуждение. Исследуемые семена трёх видов древесных пород внешне значительно отличались размером, формой и плотностью. Для каждого вида семян индивидуально подобран коэффициент увеличения, напряжение (кВ), временная экспозиция (сек). В программе ImageJ (LOCI, Университет Висконсина) были измерены ширина и длина семян (мм) и по ГОСТ 13056.4-67. – масса 1000 семян (таблица 3).

Таблица 3 – Морфометрические показатели семенного материала

Table 3 – Morphometric indicators of seed material

Показатели	<i>G. triacanthos</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>C. cogglygia</i>
Масса 1000 семян, г	125,4±2,5	13,9±3,2	9,3±1,7
Длина (min-max), мм	0,8-1,0	0,4-0,6	0,3-0,4
Длина ($\bar{x} \pm m$), мм	0,9±0,007	0,5±0,006	0,4±0,004
Ширина (min-max), мм	0,4-0,6	0,2-0,4	0,2-0,3
Ширина ($\bar{x} \pm m$), мм	0,5±0,004	0,3±0,004	0,2±0,002

Примечание: $\bar{x}$ -среднее значение, m -ошибка среднего

Морфометрический анализ семян (таблица 3) показал, что средняя длина и ширина исследуемых семян отличается от данных, приведенных в справочной литературе [4]. Это связано с особенностями почвенно-климатических условий и низкой влагообеспеченностью территории, на которой произрастали данные виды.

Исследование методом микрофокусной рентгенографии позволило выявить у внешне здоровых семян внутренние дефекты. По данным анализа получены следующие

результаты (таблица 4).

Таблица 4 – Дефекты, определенные методом микрофокусной рентгенографии

Table 4 – Defects determined by micro focus radiography

Исследуемые показатели семян	<i>G. triacanthos</i>		<i>R. pseudoacacia</i>		<i>C. coggygia</i>	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Нормально выполненные	39	78	35	70	32	64
Невыполненные	1	2	4	8	6	12
Щуплость	-	-	4	8	12	24
Повреждены насекомым	10	20	7	14	6	12

Анализ семян *G. triacanthos* был затруднен из-за плотной структуры семенной кожуры. В результате на снимке образовывались контрастные участки белого или темного цвета, что неблагоприятно влияло на интерпретацию результатов. Для улучшения качества рентгеновских снимков был тщательно подобран режим съемки для исключения неточностей в анализе и оценке состояния семян (рисунок 1).

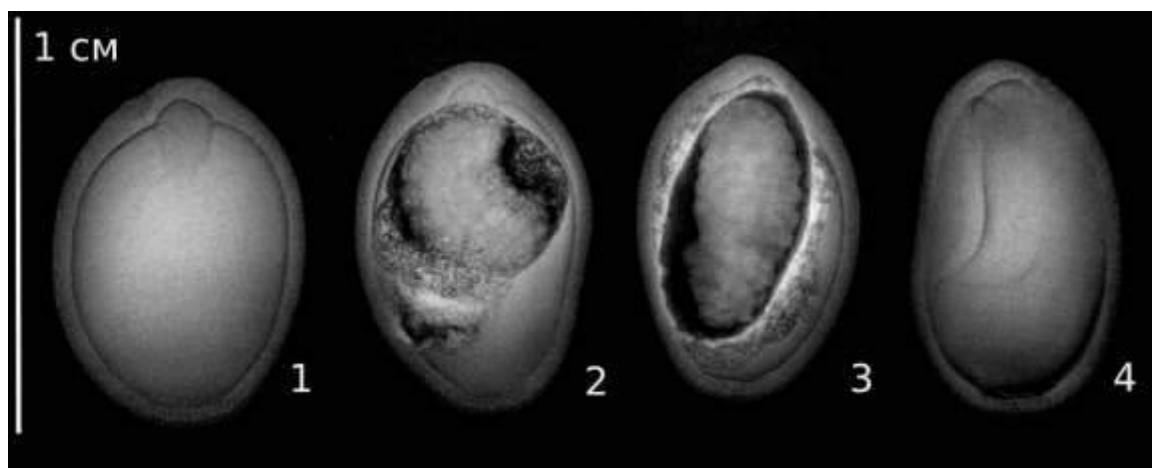


Рисунок 1 – Рентгенограмма *G. triacanthos* (увеличение 8.3): 1 – нормально выполненное, 2,3 – повреждение вредителями, 4 – невыполненное

Figure 1 – Radiograph of *G. triacanthos* (magnification 8.3): 1 – normally performed, 2,3 – damage by pests, 4 – unfulfilled

Основная масса семян имела четко очерченные границы (при большем увеличении, рисунок 1) семядолей и зародышевого корешка. Внешний контур, соответствует ширине наружной оболочки.

Нормально выполненные семена *G. triacanthos* 78% от общего числа, имеют правильную форму и размер, они отличаются равномерным свечением и четкими контурами внутренних структур на изображении. Такие семена обладают высокой жизнеспособностью.

Невыполненные семена – 2% отличаются неправильной формой и внутренней структурой, имеются вмятины (повреждение зародыша и семядолей), что в дальнейшем не способствует прорастанию.

При визуальном осмотре семенного материала *G. triacanthos* не было замечено повреждений, однако 20% семян имели следы вредителей, на снимке четко фиксировались различные стадии формирования личинки (рисунок 2).

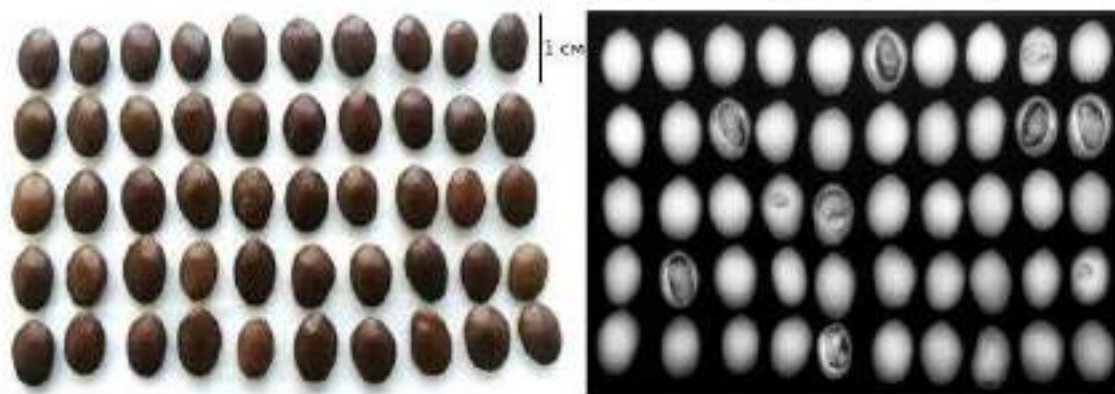


Рисунок 2 – Семена и рентгенограмма *G. triacanthos*
Figure 2 – Seeds and radiograph of *G. triacanthos*

Семена *R. pseudoacacia* на снимках имеют четкое изображение, где хорошо просматриваются все внутренние и внешние контуры (рисунок 3). Несмотря на внешне целые и здоровые семена у *R. pseudoacacia* нормально выполненных семян – полностью сформированных без дефектов 70%, область зародыша, семядоли и оболочки равномерно светлые, без затемнений. Семена на снимке имеют четкий внутренний и внешний контур.

Невыполненных семян – 8%, семена, где проекция семядолей и зародышевого корешка выглядит затемненной или темной, а светлой окраской выделяется внешний неповрежденный контур (семенная кожа).

Щуплых семян – 8%, семена имеют угловатые очертания области семядолей и зародышевого корешка, вмятины, несформированное семя с неполным содержанием ткани.

Поврежденных насекомыми семян – 14%. На снимке четко видны каналы, выеденные насекомыми. В некоторых случаях видны светлые проекции личинок.

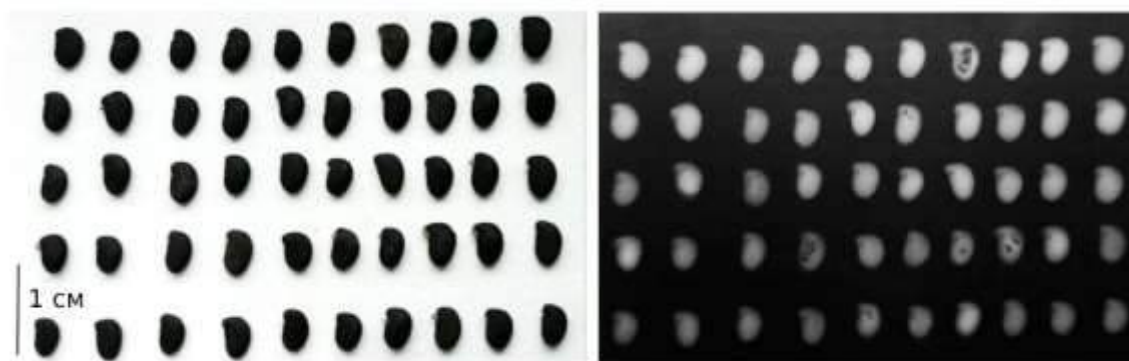


Рисунок 3 – Семена и рентгенограмма *R. pseudoacacia*
Figure 3 – Seeds and radiograph of *R. pseudoacacia*

Рентгенографический анализ семян *C. cogggyria* показал, что нормально выполненные семена составляют 64% от общего числа. Это говорит о том, что большая часть семян имеет нормальное развитие и жизнеспособность, что является хорошим показателем для разведения данного вида растения.

Невыполненные семена составляют 12%. Невыполненные семена – это семена не достигшие полного созревания формы, с минимальной выраженностью всех внутренних контуров и структур, характерной для вида. Это значит, что некоторая часть семян не развивается полностью или имеет какие-либо дефекты, что может быть связано с внутренними или внешними факторами.

Щуплые семена составляют 24%. Под щуплыми семенами понимаются семена со сниженной нормальной выполненностью, связанной с деформацией оболочек, имеющие низкую прочность и маленькую эластичность. Это может быть вызвано различными причинами, такими как неблагоприятные условия созревания, несвоевременный сбор семян, недостаточное питание или другие факторы, влияющие на качество семян. Обезвоживание.

Поврежденные насекомыми семена составляют 12% от общего числа. Это может негативно сказаться на прорастании и способности этих семян к дальнейшему размножению (рисунок 4). Анализ семян был затруднен из-за достаточно маленького размера, плотности и структуры семенной кожуры. Семенная оболочка имеет большую плотность из-за высокого содержания дубильных веществ. Это может быть связано с защитными функциями семенной кожуры, которая предотвращает проникновение различных вредных веществ и микроорганизмов внутрь семени.

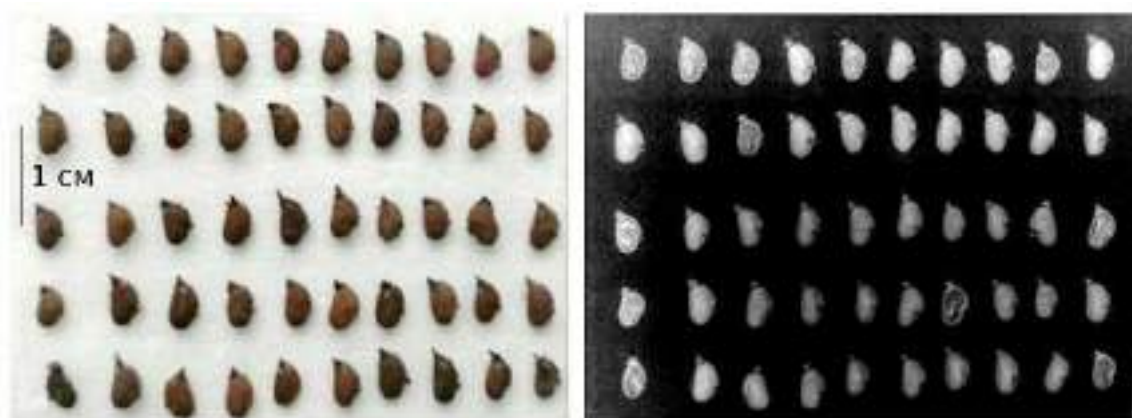


Рисунок 4 – Семена и рентгенограмма *C. coggygia*
Figure 4 – Seeds and radiograph of *C. coggygia*

Во многом природа дефектов у семян имеет индивидуальный характер, это связано с видовыми особенностями и разнообразием факторов, влияющих на формирование и развитие семян. Одним из таких факторов является генетическая предрасположенность, которая определяет структуру и функциональность семян. Окружающая среда и внешние условия также играют важную роль в формировании семян. Избыток или недостаток питательных веществ, неблагоприятные погодные условия, воздействие химических веществ могут негативно сказаться на развитии и зрелости семян, что также может привести к возникновению дефектов.

Более того, процессы образования и созревания семян подвержены воздействию биологических факторов, таких как наличие насекомых-вредителей, грибковых и бактериальных инфекций. Паразиты и болезни могут поражать семена во время их формирования, приводя к деформации, повышенной уязвимости или потере жизнеспособности и качества. Низкое качество почвы или несоответствующий уровень ухода за растениями также могут оказывать негативное влияние на семена и вызывать их дефекты [5].

Выводы. Природа дефектов у семян является результатом сложного взаимодействия генетических, биологических и окружающих факторов. Имея понимание всех этих моментов, можно разрабатывать эффективные методы предотвращения и управления дефектами у семян, что является важным аспектом в лесном и сельском хозяйстве. Основные и часто встречаемые дефекты – это невыполненность семян, щуплость и поврежденность вредителями. Эти дефекты тесно связаны и могут иметь серьезные последствия для дальнейшего развития и выживаемости семян.

Метод рентгенографии семян является важным инструментом для неразрушимого исследования внутренней структуры и состояния семян различных растений. Он позволяет выявить и зафиксировать дефекты и аномалии развития, которые могут оказывать влияние на их жизнеспособность и способность к прорастанию.

Анализ трех видов древесно-кустарниковых пород позволил определить процентное соотношение различных категорий семян и оценить их качество. Эти данные будут полезны при разработке стратегии выращивания и использования данных семян для дальнейшего разведения. Выявленные при помощи рентгенографии дефекты и аномалии внутреннего строения семян можно классифицировать и анализировать, что позволяет установить связь между этими аномалиями и жизнеспособностью семян.

Несмотря на сниженные морфометрические показатели семян, недостатком доступной влаги во время формирования и созревания семенного материала, нормально выполненных семян было более 50%. Максимальные показатели качественных семян отмечены у *G. triacanthos* – 78%, хотя при этом 20% были повреждены насекомыми, что невозможно было определить визуально, а рентгенограмма четко показала наличие повреждений внутри.

Также визуально не было замечено повреждений на семенах *R. pseudoacacia* – нормально выполненных жизнеспособных семян 70%, невыполненных и щуплых 8% и поврежденных насекомыми 14%.

В сравнении с другими видами у *C. coggygia* высокий процент невыполненных – 12% и щуплых семян – 24%. Можно предположить, что во время сбора семена были физиологически еще не созревшими. Также влияние на образование таких дефектов могли оказать неблагоприятные для полноценного созревания условия окружающей среды.

На примере исследуемых семян можно сделать вывод, что для каждого вида индивидуально нужно подобрать определенные параметры съемки: коэффициент увеличения, временную экспозицию и напряжение (кВ). Рентгенографический анализ можно рекомендовать в качестве экспресс-метода определения качества семенного материала древесно-кустарниковых пород.

Conclusions. The nature of seed defects is the result of a complex interaction of genetic, biological and environmental factors. With an understanding of all these points, effective methods can be developed to prevent and manage seed defects, which is an important aspect in forestry and agriculture. The main and most common defects are seed failure, stunting and pest damage. These defects are closely related and can have serious consequences for further seed development and survival.

Seed radiography is an important tool for indestructibly examining the internal structure and condition of seeds of various plants. It allows you to identify and record defects and developmental anomalies that may affect their viability and ability to germinate.

Analysis of three types of tree and shrub species made it possible to determine the percentage of different categories of seeds and assess their quality. These data will be useful in developing a strategy for growing and using these seeds for further propagation. Defects and anomalies in the internal structure of seeds identified using radiography can be classified and analyzed, which makes it possible to establish a connection between these anomalies and the viability of the seeds.

Despite the reduced morphometric parameters of seeds due to a lack of available moisture during the formation and ripening of seed material, more than 50% of seeds were normally produced. The maximum indicators of quality seeds were observed in *G. triacanthos* – 78%, although 20% were damaged by insects, which could not be determined visually, and the x-ray clearly showed the presence of damage inside.

Also, no damage was visually observed on the seeds of *R. pseudoacacia* – 70% of normal viable seeds, 8% of unfulfilled and puny seeds, and 14% damaged by insects.

Compared to other species, *C. coggygia* has a high percentage of unfulfilled seeds – 12% and puny seeds – 24%. It can be assumed that at the time of collection the seeds were not yet physiologically ripe. Environmental conditions unfavorable for full maturation could also influence the formation of such defects.

Using the example of the seeds under study, we can conclude that for each species it is necessary to individually select certain shooting parameters: magnification factor, time exposure and voltage (kV). X-ray analysis can be recommended as an express method for determining the quality of seed material of tree and shrub species.

Библиографический список

1. Архипов М. В. Рентгенография растений при решении задач семеноведения и семеноводства. Известия СПбГАУ. 2010. № 19. С. 36-40.
2. Безух Е. П., Потрахов Н. Н., Бессонов В. Б. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества семян плодовых культур. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. Теоретический и научно-практический журнал. 2016. № 89. С. 106-112.
3. Крючков С. Н., Вдовенко А. В., Воробьева О. М., Кочкарь М. М. Технология выращивания посадочного материала древесных видов в засушливых условиях юга России. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2021. 108 с.
4. Мусаев Ф. Б., Белецкий С. Л. История и перспективы применения рентгенографии в семеноводстве и семеноведении. Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2021. № 24 (6). С. 6-15.
5. Рогутева Н. О., Янков Н. В., Жавкина Т. М., Родионова П. В., Кавеленова Л. М. Рентгенографическая экспресс-оценка качества семян как перспективный метод в семеноведении древесных интродуцентов. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2022. № 144. С. 51-56.
6. Семенютина А. В., Климов А. Д. Биологический потенциал интродуцированных видов рода *Gleditsia* L. в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3. С. 78-83.
7. Синельников А. В. Свойства лесных семян с крылатками, обескрыленных, плодобои и без околоплодников. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 106. С. 826-841.
8. Abud H. F., Cicero S. M., Junior F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. Acta Scientiarum. Agronomy. 2018. V. 40 (1) Pp. 1-9.
9. Karamysheva A. V., et al. Comparative study of the fullness of dwarf Siberian pine seeds *Pinus pumila* (Pall.) Regel from places of natural growth and collected from plants introduced in northwestern Russia by microfocus X-ray radiography to predict their sowing qualities. Biological Communications. 2020. V. 65 (4). Pp. 297-306.
10. Tamiris M., et al. Maturation and quality of seeds of an endangered tropical palm species (*Euterpe edulis Martius*) assessed by imaging and X-ray densitometry. 2023. <https://www.researchgate.net/publication/369843522>.
11. Arkhipov M. V., et al. Microfocus X-Ray Method for Detecting Hidden Defects in Seeds of Woody Forest Species and Other Types of Vascular Plants. Technical Physics. 2019. V. 65. Pp. 324-332.
12. Musayev F. B., Arkhipov M. V., Velikanov L. P. Non-distractive X-ray diffraction method for studying seed anatomy in relation to seed heterogeneity. Proceeding of the International conference „Functional plant anatomy”. M.: Lomonosov Moscow State University, 2013. Pp. 115-121.
13. Dantas de Medeiros A., et al. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. Ciência e Agrotecnologia. 2019. V. 42. Pp. 643-652.
14. Rahman A., Cho B. K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. Seed Science Research. 2016. V. 26. № 4. Pp. 285-305.
15. Dantas de Medeiros A., et al. Relationship between internal morphology and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds using image analysis. Revista Árvore. 2019. V. 43 (2).
16. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Potrakhov N. N. X-Ray Computer Methods for Studying the Structural Integrity of Seeds and Their Importance in Modern Seed Science. Technical Physics. 2019. V. 64 (4). Pp. 582-592.

References

1. Arkhipov M. V. Plant X-ray when solving the problems of seed science and seed production. Izvestia SPbGAU. 2010. № 19. Pp. 36-40.

2. Bezukh E. P., Potrakhov N. N., Bessonov V. B. Application of the method of microfocus radiography to control the quality of seeds of fruit crops. Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry. Theoretical and scientific-practical journal. 2016. № 89. Pp. 106-112.
3. Kryuchkov S. N., Vdovenko A. V., Vorobyova O. M., Kochkar M. M. Technology for growing planting material of tree species in the arid conditions of southern Russia. Volgograd: FSBEI HE Volgograd SAU, 2021. 108 p.
4. Musaev F. B., Beletsky S. L. History and prospects for the use of radiography in seed production and seed science. News of higher educational institutions of Russia. Radioelectronics. 2021. № 24 (6). Pp. 6-15.
5. Roguleva N. O., Yankov N. V., Zhavkina T. M., Rodionova P. V., Kavelenova L. M. Radiographic express assessment of seed quality as a promising method in the seed science of tree introducers. Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2022. № 144. Pp. 51-56.
6. Semeniyutina A. V., Klimov A. D. Biological potential of introduced species of the genus *Gleditsia* L. in the Lower Volga region. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex. Science and higher professional education. 2014. № 3. Pp. 78-83.
7. Sinelnikov A. V. Properties of forest seeds with lionfish, desiccated, bean fruits and without pericarp. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. № 106. Pp. 826-841.
8. Abud H. F., Cicero S. M., Junior F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. Acta Scientiarum. Agronomy. 2018. V. 40 (1) Pp. 1-9.
9. Karamysheva A. V., et al. Comparative study of the fullness of dwarf Siberian pine seeds *Pinus pumila* (Pall.) Regel from places of natural growth and collected from plants introduced in northwestern Russia by microfocus X-ray radiography to predict their sowing qualities. Biological Communications. 2020. V. 65 (4). Pp. 297-306.
10. Tamyris M., et al. Maturation and quality of seeds of an endangered tropical palm species (*Euterpe edulis* Martius) assessed by imaging and X-ray densitometry. 2023. <https://www.researchgate.net/publication/369843522>.
11. Arkhipov M. V., et al. Microfocus X-Ray Method for Detecting Hidden Defects in Seeds of Woody Forest Species and Other Types of Vascular Plants. Technical Physics. 2019. V. 65. Pp. 324-332.
12. Musayev F. B., Arkhipov M. V., Velikanov L. P. Non-distractive X-ray diffraction method for studying seed anatomy in relation to seed heterogeneity. Proceeding of the International conference „Functional plant anatomy”. M.: Lomonosov Moscow State University, 2013. Pp. 115–121.
13. Dantas de Medeiros A., et al. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. Ciência e Agrotecnologia. 2019. V. 42. Pp. 643-652.
14. Rahman A., Cho B. K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. Seed Science Research. 2016. V. 26. № 4. Pp. 285-305.
15. Dantas de Medeiros A., et al. Relationship between internal morphology and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds using image analysis. Revista Árvore. 2019. V. 43 (2).
16. Arkhipov M. V., Priyarkin N. S., Gusakova L. P., Potrakhov N. N. X-Ray Computer Methods for Studying the Structural Integrity of Seeds and Their Importance in Modern Seed Science. Technical Physics. 2019. V. 64 (4). Pp. 582-592.

Информация об авторах

Гричик Елена Леонидовна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0003-4478-6538, e-mail: grichik-e@vfanc.ru

Жолобова Ольга Олеговна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Пугачёва Анна Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь, и.о. заместителя директора по научной работе ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0003-0852-8056, e-mail: pugachevaa@vfanc.ru

Беляев Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, и.о. директора ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), ORCID: 0000-0001-8077-7052, e-mail: director@vfanc.ru

Author's Information

Grichik Elena Leonidovna, 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, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0003-4478-6538, e-mail: grichik-e@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, Universitetskiy Ave., 97), , ORCID: 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, chief researcher, head of the laboratory of selection, seed production and nursery production of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Pugacheva Anna Mikhailovna, Candidate of Agricultural Sciences, scientific secretary, acting Deputy Director for Scientific Work of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0003-0852-8056, e-mail: pugachevaa@vfanc.ru

Belyaev Aleksander Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, interim, Director of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: 0000-0001-8077-7052, e-mail: director@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-23

THE INFLUENCE OF FOREST STRIPS ON THE FORMATION OF SNOW COVER IN AGROFORESTRY LANDSCAPES OF THE VOLGA UPLAND

M. V. Petrov, R. B. Sharipova

*Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev – a branch of the
Federal State Budgetary Institution of Science of the Samara Federal Research Center of the Russian
Academy of Sciences
Ulyanovsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: maxim120198@yandex.ru

Received 07.07.2023

Submitted 09.11.2023

Summary

The article considers the features of accumulation of snow reserves under the influence of forest stands of birch hanging openwork-blown structure in the plakor-plain (0-1°), slope-hollow (1-3°) and slope-ravine (3-5°) types of agroforestry landscapes.

Abstract

Introduction. One of the most important climatic factors against the background of regional climate change is the snow cover, which contains huge reserves of moisture and makes a great contribution to obtaining high yields. Forest plantations contribute to the most productive accumulation of snow and its uniform distribution. **Object.** The object of research is the snow cover. **Materials and methods.** The research was carried out on the experimental field of the Ulyanovsk Research Institute in the system of the erosion control complex of the Experimental Station “Novonikulinskaya” of the Tsilninsky district of the Ulyanovsk region. The height of snow and its density were measured on the eve of

snowmelt: the density of snow cover was determined by a weight snow meter – VS43, height – by a portable metal rail. **Results and conclusions.** Snow deposition in the mountain-plain type of agricultural landscape accumulates within the limits of 41.4 cm and 31.0 cm, on the slope-hollow – 36.9 and 34.0 cm, in the slope-ravine – 34.2 and 28.7 cm. The largest amount of spring moisture reserves due to snow melting in the inter-lane space is formed on the plateau-plain type of agricultural landscape. At a distance of 50 m from the windward and windward forest strips, this indicator was 109.3 and 91.5 mm. With the approach to the central part of the field (260 m), the provision of moisture due to snow decreased to 77.3 mm. A similar dependence can be traced on the slope-hollow and slope-ravine types of the agricultural landscape, but with a much smaller predicted water supply in the snow cover.

Key words: forest belts, forest reclamation, landscape, snow reserves, erosion of soils.

Citation. Petrov M. V., Sharipova R. B. The influence of forest strips on the formation of snow cover in agroforestry landscapes of the Volga upland. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 223-232 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-23.

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 631.6.02 551.582

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ФОРМИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В АГРОЛЕСОЛАНДШАФТАХ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

М. В. Петров, младший научный сотрудник

Р. Б. Шарипова, кандидат сельскохозяйственных наук

Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени
Н. С. Немцева – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук
г. Ульяновск, Российская Федерация

Актуальность. Одним из важнейших климатических факторов сельскохозяйственного производства является снежный покров, который содержит в себе огромные запасы влаги и вносит большой вклад в получении высоких урожаев. Лесные насаждения способствуют наиболее продуктивному накоплению снежной толщи и его равномерного распределения. **Объект.** Объектом исследований является снежный покров. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном поле Ульяновского НИИСХ в системе противоэрозионного комплекса Опытной станции “Новоникулинская” Цильнинского района Ульяновской области. Высоту снега и его плотность измеряли накануне снеготаяния: плотность снежного покрова определялась весовым снегомером – ВС43, высота – переносной металлической рейкой. **Результаты и выводы.** Снегоотложение в плакорно-равнинном типе агролесоландшафта накапливается в пределах – 41,4 см и 31,0 см, на склоново-ложбинном – 36,9 и 34,0 см, в склоново-овражном – 34,2 и 28,7 см. Наибольшее количество запасов весенней влаги за счет таяния снега в межполосном пространстве складывается на плакорно-равнинном типе агролесоландшафта. При удаленности от наветренной и заветренной лесной полосы на расстояние 50 м данный показатель составил 109,3 и 91,5 мм. С приближением к центральной части поля (260 м) обеспеченность влаги за счет снега снизилась до 77,3 мм. Аналогичная зависимость прослеживается на склоново-ложбинном и склоново-овражном типах агролесоландшафтов, но со значительно меньшим прогнозируемым запасом воды в снежном покрове.

Ключевые слова: лесные полосы, лесомелиорация, агролесоландшафты, снегозапасы, эрозия почв.

Цитирование. Петров М. В., Шарипова Р. Б. Влияние лесных полос на формирование снежного покрова в агролесоландшафтах Приволжской возвышенности. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 223-232. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-23.

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. Совокупное влияние физико-географических и природных условий Ульяновской области в значительной степени определяет развитие эрозионных процессов в регионе. Большое значение имеет морфологический облик рельефа, определяющийся сочетанием водоразделов, склонов, овражно-балочных форм рельефа, карста, оползней, надпойменных террас и речных долин. Общая площадь земель, подверженных эрозионным процессам, на территории Ульяновской области составляет 996,34 км², а ее пораженность оценивается в целом как средняя – 2.84 %. Всего на территории области зафиксировано 925 оползневых деформаций. Протяженность береговых склонов водохранилищ, подверженных воздействию оползневыми процессами, составляет 190 км, а общая площадь деформаций – 49,85 км², в том числе на правобережье Куйбышевского водохранилища – 40.584 км². [1, 10]. Немаловажным фактором, способствующим интенсивности происходящих процессов эрозии, является накопление и распределение снежного покрова на земельных территориях защищенных лесными насаждениями, особенно в межполосном пространстве [5, 14].

Снежный покров относится к числу важнейших климатических факторов. Перераспределение снега находится в зависимости от ветрового режима территории (структуры ветропотока и скорости). В условиях агролесоландшафта эту роль выполняют лесомелиоративные насаждения. Лесные насаждения – один из наиболее мощных и долговременных приемов задержания снежного покрова и его равномерного распределения на полях. На защищенных лесными полосами полях по сравнению с открытыми полями в среднем снег своим объемом дополнительно накапливается до 20-50% и более [7, 8, 13].

Весной, в период снеготаяния, влияние температуры воздуха сказывается главным образом на водной эрозии. Резкое нарастание температуры в данный период действуют формированию больших величин стока. По данным исследований весна в регион приходит с наступлением положительных среднесуточных температур в сторону повышения через 0°C – 27 марта [9, 12].

Коэффициент стока зимних осадков находится в обратной связи с высотой снежного покрова: чем выше высота снега, тем меньше коэффициент стока. Данный факт имеет практическое значение при использовании снегозадержания для регулирования поверхностного стока. Под толстым слоем снега земля защищена от действия низких температур: она меньше промерзает, быстрее оттаивает весной и быстрее становится способной впитывать влагу. Сильно охлажденные верхние слои ее могут при соответствующих условиях конденсировать водяные пары в нижние горизонты почв. При малой высоте снежного покрова образовавшиеся в почве ледяные кристаллы понижают ее способность впитывать и тем самым повышают коэффициент стока [6, 15].

Необходимость снежного покрова и влаги тающего снега для получения более высоких урожаев создает стремление сохранять снежный покров и даже увеличивать его накопление. Задачу возможно более полного использования местных водных ресурсов для дополнительного увлажнения почвы можно решить путем проведения соответствующих агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических мероприятий [2, 11].

Целью исследований является изучение влияния лесных полос, расположенных поперек господствующих метелевых ветров и их влияние на снегоотложение в межполосном пространстве в основных типах агроландшафта.

Материалы и методы исследований. Изучение влияния лесомелиоративных насаждений на распределение снежного покрова в межполосном пространстве проводилось на стационарном опыте, являющемся одним из составных элементов противо-

эрозионного комплекса Опытной Станции «Новоникулинская» Цильнинского района Ульяновской области. Почвы хозяйства представлены преимущественно обыкновенными, типичными и выщелоченными черноземами глинистого и тяжелосуглинистого состава. ОС "Новоникулинская" является характерным хозяйством для климатических и почвенных условий Ульяновской области и зоны Среднего Поволжья [3, 4].

Накопление и распределение снежного покрова в межполосном пространстве на различных типах агролесоландшафта и наблюдалась во второй половине марта в 2022-2023 годах. Породный состав лесных полос представлен березой повислой ажурно-продуваемой конструкции из 5 рядных полос с шириной 12,5 м.

Первая зона исследований располагается на заветренной стороне лесной полосы и занимает пространство на удалении 50; 130 м. Вторая зона расположена по центру изучаемого участка – 260 м. Третья зона располагается с наветренной стороны противоположной лесной полосы с удалением от нее – 50; 130 м.

Учет накопления снежного покрова проводили на плакорно-равнинном (0-1°), склоново-ложбинном (1-3°) и склоново-овражном (3-5°) типах агролесоландшафта в межполосном пространстве между продольными лесными полосами перпендикулярно господствующим юго-западным ветрам с удаленностью от лесной полосы – 50; 130; 260; 130; 50 м.

Высоту и плотность снегового покрова при снегомерных съемках измеряли до снеготаяния. Высоту – переносной металлической рейкой производили измерения по направлению господствующих ветров (ЮЗ) через 4 м в 3-5-ти кратной повторности (путём подсчета находили среднюю высоту снега), плотность – снегомером весовым ВС-43, через 20 м в 3-х кратной повторности. Запас влаги в снеге в мм определяли по формуле: $Y=10 \times H \times P$, где Y – запас воды в снеге, H – средняя высота снежного покрова в см, P – плотность снега.

Результаты и обсуждения. Исследования проводились в межполосном пространстве между продольными лесными полосами расположенных поперек господствующих метелевых ветров на различных типах агролесоландшафтов.

Ветровой режим в основном определяется сезонными особенностями структуры барического поля согласно барическому закону ветра, а также формой рельефа, характером подстилающей поверхности.

В среднем за год преобладающим направлением ветра для четверти горизонта на территории Ульяновской области является западное, его вероятность составляет 35%.

При этом, по восьмирумбовой шкале повторяемость западного направления ветра составляет 19%, а юго-западного и северо-западного по 15% каждого направления (рисунок 1).

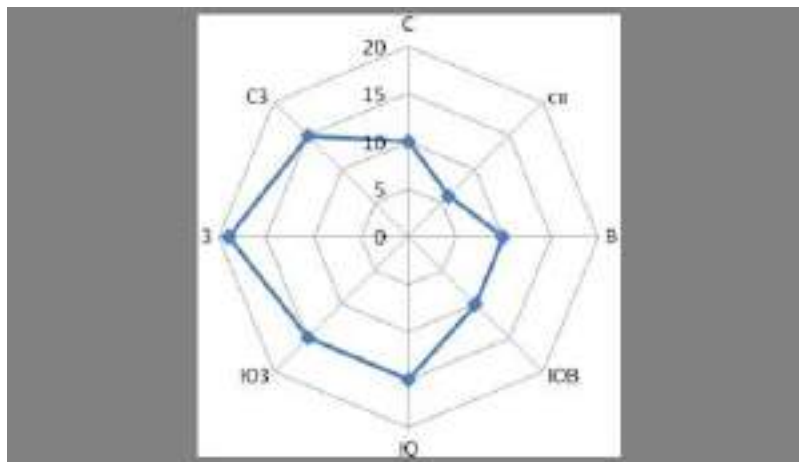


Рисунок 1 – Повторяемость направлений ветра за год (1961-2022 гг.)

Figure 1 – Repeatability of wind directions per year (1961-2022)

Преобладание ветров юго-западной четверти горизонта более ярко выражено в зимний период, когда ось зимнего азиатского максимума давления проходит южнее изучаемой территории, а преобладание западного тропосферного переноса при больших горизонтальных градиентах давления обуславливает большую повторяемость южных и западных ветров с повышенными скоростями (рисунок 2).

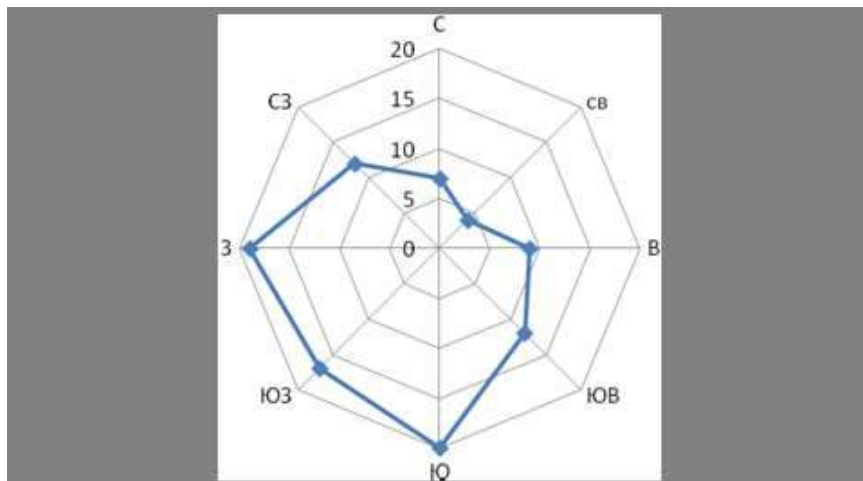


Рисунок 2 – Повторяемость направлений ветра в зимний период (1961-2022 гг.)

Figure 2 – Repeatability of wind directions in winter (1961-2022)

Атмосферные осадки являются одной из наиболее изменчивых метеорологических величин. Количество зимних осадков за 2021-2022 сельскохозяйственный год (310,2 мм) значительно превышает за данный период в 2022-2023 году (249,9 мм), а также нормативные значения (140,0 мм) (таблица 1).

Таблица 1 – Значение метеорологических показателей и средних нормативных данных за многолетний период

Table 1 – The meteorological indicators and average regulatory data for a multi-year period

Показатель	2021-2022 сельскохозяйственный год	2022-2023 сельскохозяйственный год	Среднее многолетнее
Установление снежного покрова	13 ноября	17 ноября	23 ноября
Разрушение снежного покрова	7 апреля	20 марта	3 апреля
Продолжительность залегания снежного покрова	146 дней	124 дня	132 дня
Количество выпавших осадков, мм			
Ноябрь	40,5	66,1	18,0
Декабрь	33,7	60,9	36,0
Январь	99,8	22,0	34,0
Февраль	68,0	63,9	24,0
Март	19,5	37,0	27,0
Апрель	48,7	-	10,0
Сумма:	310,2	249,9	149,0

Продолжительность залегания снежного покрова в 2021-2022 году составила 146 дней, что на 22 дня дольше, чем в 2022-2023 году, и на 14 дней больше среднеемноголетних значений.

Таксационные показатели березы повислой, являющейся основной породой древесных насаждений лесных полос, изменялись от типа агролесоландшафта и пространственной ориентацией их посадки относительно земельного участка и плодородия почвы (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение таксационных характеристик березы повислой (*Bétula péndula*) на различных типах агролесоландшафтов и пространственной ориентацией относительно земельного участка

Table 2 – Changes in the taxation characteristics of the drooping birch (*Bétula péndula*) on various types of agrolandscape and getting into orientation relative to the land plot

Тип агролесоландшафта	Западная лесополоса		Восточная лесополоса		Средне содержание гумуса, %
	Высота, м	Диаметр, см	Высота, м	Диаметр, см	
Плакотно-равнинный	17,3±0,98	24,6±1,19	16,1±0,51	21,1±0,94	7,07
Склоново-ложбинный	16,6±0,57	23,7±1,20	15,1±0,83	20,1±1,01	5,96
Склоново-овражный	14,6±0,52	19,8±0,95	13,9±0,72	18,5±0,78	5,92

Заметное изменение в росте древесных насаждений оказывает непосредственно тип агроландшафта, где они произрастают. Наиболее активный рост деревьев отмечен на плакотно-равнинном типе агроландшафта как на западной (высота 17,3 м, диаметр 24,6 см), так и на восточной (высота 16,1 м, диаметр 21,1 см) стороне поля. На склоново-ложбинном и склоново-овражном типах агроландшафтов наблюдается постепенное снижение роста древесных насаждений. В лесной полосе, расположенной на западной стороне поля, показатели высоты и диаметра деревьев относительно результатов, полученных на плакотно-равнинном типе агроландшафта, имели снижение на 0,7; 2,7 м, 0,9; 4,8 см в склоново-ложбинном и 1,0; 2,2 м, 1,0; 2,6 см – склоново-овражном типе агроландшафта. Прежде всего это связано с плодородием почвы которое имеет тенденцию к снижению от водораздела (7,07% гумуса) до нижней части склона (5,96-5,92%).

Современное таксационное состояние древесных насаждений (березы повислой) в лесных полосах на изучаемом поле имело определенное влияние на снегораспределение в межполосном пространстве.

За годы проведенных исследований накопление снега в большей степени отмечено на удалении 50 метров от лесной полосы, как с наветренной, так и заветренной стороны на всех типах агролесоландшафтов, причем с заветренной в большей степени. Так, снегоотложение в плакотно-равнинном типе агролесоландшафта составило с наветренной стороны 41,4 см, заветренной – 31,0 см. На склоново-ложбинном – 36,9; 34,0 см – склоново-овражном – 34,2; 28,7 см (таблица 3).

По мере удаления от насаждений до 130 м высота снежного покрова уменьшалась и составила на плакотно-равнинном типе агроландшафте 34,5; 34,7 см склоново-ложбинном – 32,8; 34,0 и склоново-овражном – 28,7; 28,1 см соответственно ориентации лесной полосы к господствующему ветру. В центральной зоне поля на расстоянии 260 м распределение снежного покрова по ландшафтам плакотно-равнинного, склоново-ложбинного и склоново-овражного типа составила 26,7; 25,2; 23,4 см.

В целом надо отметить, что с увеличением крутизны склона запасы снега постепенно уменьшались. В плакотно-равнинном типе агролесоландшафта средняя высота снежного покрова составила – 34,9 см, в склоново-ложбинном этот показатель был на 2,4 см ниже, а в склоново-овражном на 6,2 см.

Таблица 3 – Распределение снежного покрова в межполосном пространстве на различных типах агроландшафтов

Table 3 – Distribution of snow cover in the inter strip space on different types of agricultural landscape

Тип агро- ландшафта	Пространственная ори- ентация лесной полосы на земельном участке	Расстояние от лесной полосы, м	Высота снежного покрова, см		
			Годы наблюдений		Среднее значение:
			2022	2023	
Плакорно- равнинный (0-1°)	Западная (наветренная)	50	47,1+1,01	35,6+1,02	41,4
		130	43,4+1,12	25,5+1,14	34,5
	Центр поля	260	32,8+1,02	20,6+1,21	26,7
	Восточная (заветрен- ная)	130	40,6+1,13	28,8+1,11	34,7
		50	44,5+1,05	26,9+1,08	35,7
Среднее значение:			42,3	27,5	34,9
Склоново- ложбинный (1-3°)	Западная (наветренная)	50	43,5+0,87	30,2+0,89	36,9
		130	40,2+0,91	25,4+0,86	32,8
	Центр поля	260	30,7+0,76	19,6+0,95	25,2
	Восточная (заветренная)	130	38,3+0,80	23,2+0,65	30,8
		50	40,1+0,82	27,8+0,71	34,0
Среднее значение:			39,7	25,2	32,5
Склоново- овражный (3-5°)	Западная (наветренная)	50	38,5+0,75	29,8+0,71	34,2
		130	33,1+0,81	24,3+0,82	28,7
	Центр поля	260	28,5+0,79	18,3+0,79	23,4
	Восточная (заветренная)	130	33,4+0,75	22,7+0,68	28,1
		50	36,1+0,67	25,8+0,93	31,0
Среднее значение:			33,2	24,2	28,7

Таблица 4 – Запасы воды в снежном покрове в межполосном пространстве на разных типах агроландшафтов

Table 4 – Water reserves in the snow cover in the inter strip space on different types of agricultural landscape

Тип агро- ландшафта	Пространственная ори- ентация лесной полосы на земельном участке	Расстояние от лесной полосы, м	Запасы воды в снежном покрове, мм		
			Годы наблюдений		Среднее значение
			2022	2023	
Плакорно- равнинный (0-1°)	Западная (наветренная)	50	122,5	96,1	109,3
		130	108,5	71,4	90,0
	Центр поля	260	88,6	65,9	77,3
	Восточная (заветренная)	130	101,5	72,0	86,8
		50	115,7	67,3	91,5
Среднее значение:			107,3	74,5	90,9
Склоново- ложбин- ный (1-3°)	Западная (наветренная)	50	108,8	81,5	95,2
		130	104,5	66,0	85,3
	Центр поля	260	89,0	60,8	74,9
	Восточная (заветренная)	130	103,4	62,6	83,0
		50	104,3	72,3	88,3
Среднее значение:			101,9	68,7	85,3
Склоново- овражный (3-5°)	Западная (наветренная)	50	100,1	71,5	85,8
		130	96,0	65,6	80,8
	Центр поля	260	91,2	60,4	75,8
	Восточная (заветренная)	130	93,5	63,6	78,6
		50	97,5	67,1	82,3
Среднее значение:			95,6	65,6	80,6

Аэродинамические свойства лесных полос оказывают влияние не только на распределение снежного покрова в межполосном пространстве, но и на его плотность.

Проведенные замеры и расчеты показывают, что плотность снежных отложений на удаленности от лесной полосы 50 и 130 м на всех типах ландшафта была практически на одном уровне 0,25-0,27, г/см³. В тоже время заметное уплотнение снежного покрова было отмечено в середине поля (260 м), где этот показатель варьировал в пределах 0,30 – 0,33 г/см³.

Толщина и плотность снежного покрова, сложившаяся в межполосном пространстве, определяют запасы воды в период снеготаяния. Проведенные расчеты показали, что наибольший ожидаемый приход весенней влаги за счет таяния снега в межполосном пространстве складывается на плакорно-равнинном типе агролесоландшафта. При удаленности от наветренной и заветренной лесной полосы на расстояние 50 и 130 м эти показатели составили 109,3; 90,0 мм, 91,5; 86,8 мм. С приближением к центру поля (260м) обеспеченность влаги за счет снега снизилась до 77,3 мм (таблица 4).

Аналогичная зависимость прослеживается и на склоново-ложбинном и склоново-овражном типах агролесоландшафта. Но при этом с увеличением склона от 3° до 5° прогнозируемый запас воды в снежном покрове по среднему значению снизился до 85,3; 80,6мм.

Заключение. Таксационные показатели березы повислой в лесных полосах зависели как от типа агроландшафта, так и от пространственной ориентации их посадки относительно земельного участка и плодородия почвы. Накопление снега в большей степени отмечено на удалении 50 метров от лесной полосы как с наветренной, так и заветренной стороны на всех типах агролесоландшафтов, причем с заветренной в большей степени. Снегоотложение в плакорно-равнинном типе агроландшафта составило с наветренной стороны 41,4 см, заветренной – 31,0 см. На склоново-ложбинном – 36,9; 34,0 см, в склоново-овражном – 34,2; 28,7 см.

Наибольший ожидаемый приход весенней влаги за счет таяния снега в межполосном пространстве складывается на плакорно-равнинном типе агролесоландшафта. При удаленности от наветренной и заветренной лесной полосы на расстояние 50 м этот показатель составил 109,3; 91,5 мм. С приближением к центру поля (260 м) обеспеченность влаги за счет снега снизилась до 77,3 мм. Аналогичная зависимость прослеживается на склоново-ложбинном и склоново-овражном типах ландшафта, но со значительно меньшим прогнозируемым запасом воды в снежном покрове.

Conclusions. The taxation indicators of birch hanging in forest strips depended both on the type of agricultural landscape and on the spatial orientation of their planting relative to the land plot and soil fertility. The accumulation of snow is more marked at a distance of 50 meters from the forest strip, both from the windward and windward sides on all types of agroforest landscapes, and to a greater extent from the windward side. Snow deposition in the upland-plain type of agricultural landscape was 41.4 cm on the windward side and 31.0 cm on the windward side. On the slope-hollow - 36.9; 34.0 cm, in the slope-ravine – 34.2; 28.7 cm.

The greatest expected arrival of spring moisture due to snow melting in the inter-band space is formed on the upland-plain type of agro-forest shaft. With the distance from the windward and windward forest strip at a distance of 50 m, this indicator was 109.3; 91.5 mm. With the approach to the center of the field (260 m), the provision of moisture due to snow decreased to 77.3 mm. A similar dependence can be traced on the slope-hollow and slope-ravine types of landscape, but with a much smaller predicted water supply in the snow cover.

Библиографический список

1. Дозоров А. В., Исайчев В. А., Никитин С. Н., Карпович К. И. и др. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области. Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2017. 488 с.
2. Барабанов А. Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.
3. Захаров А. И. Организация и использование противоэрозионных комплексов как фактор преодоления негативного воздействия засухи. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4 (32). С. 58-61.

4. Карпович К. И., Захаров А. И. Повышение эффективности растениеводства в адаптивно-ландшафтных системах земледелия в черноземной лесостепи Среднего Поволжья. Ульяновск: УлГТУ, 2015. 219 с.
5. Коронкевич Н. И., Георгиади А. Г., Ясинский С. В. О гидрологических изменениях. Вопросы географии. 2018. № 145. С. 739-744.
6. Кретинин В. М., Кулик К. Н., Кошелев А. В. Агроресомелиоративное почвоведение: развитие, достижения, задачи. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 23-26.
7. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачева А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 4-14.
8. Мустафина А. Б. Основные особенности влияния погодных условий на урожайность зерновых культур в Республике Татарстан. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 2 (372). С. 144-153.
9. Немцев С. Н., Шарипова Р. Б. Агроклиматические ресурсы, их изменение и экологические ограничения вегетационного периода Ульяновской области. Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 2. С. 10-14.
10. Проездов П. Н., Маштаков Д. А., Панфилов А. В. Теоретическое обоснование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агролесомелиорации в степной и сухостепной зонах Поволжья. Нива Поволжья. 2017. № 2 (43). С. 42-48.
11. Шабаетов А. И. Эрозия почв и адаптивно-ландшафтное земледелие: избранные труды. Саратов: НИИСХИОБ, 2017. 648 с.
12. Шарипова Р. Б. Тенденции изменения климата и агроклиматических ресурсов Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур. Ульяновск: УлГТУ, 2020. 138 с.
13. Gardner R. Trees as technology: planting shelterbelts on Great Plains. History and Technology. Vol. 25. Iss.4. Pp. 325-341.
14. Tanwar S. P. S., Bhati T. K., Akath Singh, Patidar M., Mathur B. K., Praveen Kumar, Yadav O. P. Rainfed Integrated Farming Systems in arid zone: Resilience Unmatched. Indian Journal of Agronomy. 2019. No 63 (4). Pp. 403-414.
15. Barabanov A. T., Dolgov S. V., Koronkevich N. I., Panov V. I., Petelko A. I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain. Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. № 1. Pp. 66-72.

References

1. Dozorov A. V., Isaichev V. A., Nikitin S. N., Karpovich K. I., et al. Adaptive landscape system of agriculture of the Ulyanovsk region. Ulyanovsk: Ulyanovsk GAU, 2017. 488 p.
2. Barabanov A. T. Erosion and hydrological assessment of the interaction of natural and anthropogenic factors in the formation of surface runoff of meltwater and adaptive landscape agriculture. Volgograd: FNC Agroecology RAS, 2017. 188 p.
3. Zakharov A. I. Organization and use of anti-erosion complexes as a factor in overcoming the negative impact of drought. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2015. № 4 (32). Pp. 58-61.
4. Karpovich K. I., Zakharov A. I. Increasing the efficiency of crop production in adaptive landscape systems of agriculture in the black earth forest-steppe of the Middle Volga region. Ulyanovsk: UlSTU, 2015. 219 p.
5. Koronkevich N. I., Georgiadi A. G., Yasinsky S. V. On hydrological changes. Geography issues. 2018. № 145. Pp. 739-744.
6. Kretinin V. M., Kulik K. N., Koshelev A. V. Agroforestry and reclamation soil science: development, achievements, tasks. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2020. № 1. Pp. 23-26.
7. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The role of protective forestry in the fight against drought and desertification of agroland shafts. Arid ecosystems. 2023. V. 29. № 1 (94). Pp. 4-14.
8. Mustafina A. B. The main features of the influence of weather conditions on the yield of grain crops in the Republic of Tatarstan. Hydrometeorological studies and forecasts. 2019. № 2 (372). Pp. 144-153.
9. Nemtsev S. N., Sharipova R. B. Agroclimatic resources, their change and environmental restrictions of the growing season of the Ulyanovsk region. Achievements in science and technology of the agro-industrial complex. 2021. V. 35. № 2. Pp. 10-14.

10. Proezdov P. N., Mashtakov D. A., Panfilov A. V. Theoretical justification of adaptive landscape systems of agriculture and agroforestry in the steppe and dry-steppe zones of the Volga region. Niva Volga region. 2017. № 2 (43). Pp. 42-48.

11. Shabaev A. I. Soil erosion and adaptive landscape agriculture: selected works. Saratov: NIISKHUV, 2017. 648 p.

12. Sharipova R. B. Trends in climate change and agroclimatic resources of the Ulyanovsk region and their impact on the yield of grain crops. Ulyanovsk: UISTU, 2020. 138 p.

13. Gardner R. Trees as technology: planting shelterbelts on Great Plains. History and Technology. Vol. 25. Iss.4. Pp. 325-341.

14. Tanwar S. P. S., Bhati T. K., Akath Singh, Patidar M., Mathur B. K., Praveen Kumar, Yadav O. P. Rainfed Integrated Farming Systems in arid zone: Resilience Unmatched. Indian Journal of Agronomy. 2019. No 63 (4). Pp. 403-414.

15. Barabanov A. T., Dolgov S. V., Koronkevich N. I., Panov V. I., Petelko A. I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain. Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. № 1. Pp. 66-72.

Информация об авторах

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

Шарипова Разиде 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

Author's Information

Petrov Maksim Vyacheslavovich, Junior Researcher, Department of Agriculture and Cultivation Technologies cultures, Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture - branch of the Samara's scientific center Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky village, Institutskaya st., 19), e-mail: maxim120198@yandex.ru

Sharipova Razide Bariyevna, Candidate of agricultural sciences, senior Researcher, Department of Agriculture and Cultivation Technologies crops Ulyanovsk Research Institute of Agriculture – branch of the Samara's scientific center Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky village, Institutskaya st., 19), e-mail: rezedasharipova63@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-24

EFFICIENCY OF APPLICATION OF GROWTH STIMULANTS IN CUTTINGS OF SOME SPECIES OF THE GENUS *LONICERA* L. PROMISING IN PROTECTIVE FORESTRY

T. V. Tereshchenko, O. O. Zholobova, A. V. Solonkin

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

Corresponding author E-mail: tereshchenko@vfanc.ru

Received 14.07.2023

Submitted 23.11.2023

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 РАН № 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 vegetative propagation of three species of the genus *Lonicera* by semi-lignified cuttings using various growth stimulants. For each species of *Lonicera*, the most effective stimulants were identified. As a result, a high yield of own-rooted honeysuckle plants was obtained.

Abstract

Introduction. In protective afforestation in the conditions of the Lower Volga region, shrub species are the most stable. From the family of honeysuckle (*Caprifoliaceae*), in forest plantations, Tatar honeysuckle (*Lonicera tatarica* L.) is found, which is distinguished by frost resistance, drought resistance and decorative effect. The use of drugs that stimulate root formation has a positive effect on the parameters of the roots and shoot growth in cuttings. Currently, research is being carried out aimed at studying the wide reproduction of edible honeysuckle varieties. Therefore, the purpose of this study was to study the propagation of other species of honeysuckle in semi-woody cuttings using various preparations that stimulate root formation and to isolate the most effective of them. **Objects.** The objects of the study were three species of *Lonicera* (*L. tatarica* L., *L. korolkovii* Stapf, *L. morrowii* A. Gray) and 6 drugs that stimulate growth and root formation in plants. **Materials and methods.** The study was conducted on the basis of the biotechnology laboratory of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. The experiment involved 6 growth stimulants: indolyl-3-butyric acid (IBA), 1-naphthaleneacetic acid (NAA), indole-3-acetic acid (IAA), Kornevin, Zircon, Epin-extra. The effectiveness of the assessment of indicators by the impact on the frequency of rhizogenesis, high rates of development of the root system (length and number of roots), as well as by the growth of shoots in cuttings. Statistical processing is carried out using the MS Excel 2016 software package and the Mann-Whitney U-test ($p < 0.05$). **Results and conclusions.** As a result of the research, it was found that all local types of honeysuckle show an increased desire to root semi-lignified cuttings. In each case, there was a different encounter with stimulant drugs, so the most important studies for each specific subject were highlighted.

Key words: plant growth stimulants, honeysuckle propagation, honeysuckle cuttings rooting, honeysuckle cuttings.

Citation. Tereshchenko T. V., Zholobova O. O., Solonkin A. V. Efficiency of application of growth stimulants in cuttings of some species of the genus *Lonicera* L. promising in protective forestry. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 232-243 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-24.

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

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

УДК 634.23:631.535.4

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА ПРИ ЧЕРЕНКОВАНИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *LONICERA* L., ПЕРСПЕКТИВНЫХ В ЗАЩИТНОМ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИИ

Т. В. Терещенко, младший научный сотрудник

О. О. Жолобова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

А. В. Солонкин, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»
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. В защитном лесоразведении в Нижнем Поволжье наиболее устойчивыми являются кустарниковые виды. Из семейства жимолостных (*Caprifoliaceae*) в лесных насаждениях встречается жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), которая отличается морозостойкостью, засухоустойчивостью и декоративностью. Применение препаратов, стимулирующих корнеобразование, оказывает положительное влияние на параметры регенерации корней и рост побега у черенков. В настоящее время многочисленные исследования направлены на изучение способов размножения

сортов жимолости съедобной. Поэтому целью настоящего исследования было изучение размножения других видов жимолости полуодревесневшими черенками с применением различных стимуляторов и выделение наиболее эффективных из них. **Объекты исследования.** Объектами исследования являлись три вида *Lonicera* (*L. tatarica* L., *L. korolkowii* Stapf, *L. morrowii* A. Gray) и 6 препаратов, стимулирующих рост и корнеобразование у растений. **Методы исследования.** Исследование проводилось на базе лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН. В опыте были задействованы 6 стимуляторов роста: индолил-3-масляная кислота (ИМК), 1-нафталинуксусная кислота (НУК), индол-3-уксусная кислота (ИУК), «Корневин», «Циркон» и «Эпин-экстра». Эффективность препаратов оценивали по их влиянию на частоту ризогенеза, качественные показатели развития корневой системы (длина и число корней), а также по приросту побега у черенков. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ MS Excel 2016 и U-теста Манна-Уитни ($p < 0,05$). **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований было выявлено, что все исследуемые виды жимолости обладают высокой способностью к укоренению полуодревесневшими черенками. У каждого вида наблюдалась разная реакция на стимулирующие препараты, поэтому были выделены наиболее эффективные для каждого исследуемого объекта.

Ключевые слова: стимуляторы роста растений, размножение жимолости, укоренение черенков жимолости, черенкование жимолости.

Цитирование. Терещенко Т. В., Жолобова О. О., Солонкин А. В. Эффективность применения стимуляторов роста при черенковании некоторых видов рода *Lonicera* L., перспективных в защитном лесоразведении. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 232-243. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-24.

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. Для создания высокопродуктивных защитных лесных насаждений, а также городских озеленительных посадок используются древесные и кустарниковые виды растений, которые отличаются высокой устойчивостью, быстрым ростом и долговечностью [23].

В защитном лесоразведении в условиях Нижнего Поволжья кустарники являются более устойчивыми. Среди них наиболее распространенными являются смородина золотистая, жимолость татарская, карагана древовидная, скумпия кожевенная, аморфа кустарниковая и бузина кистистая [15].

В настоящее время ассортимент используемых древесно-кустарниковых пород для создания многофункциональных лесных насаждений ограничен, все посадки достаточно возрастные, а их состояние преимущественно неудовлетворительное [17]. Поэтому актуально расширение видового ассортимента растений и повышение биоразнообразия для создания устойчивых многофункциональных защитных лесных насаждений путем интродукции новых древесных видов, обладающих высокой устойчивостью, экологической пластичностью и стабильностью, которые также можно использовать в качестве декоративных, плодовых и медоносных целей [14].

В семействе жимолостных (*Caprifoliaceae* Juss.) род жимолость (*Lonicera* L.) является крупнейшим и включает в себя около 200 видов [3]. Многие виды *Lonicera* характеризуются высокой устойчивостью и декоративностью, поэтому могут широко применяться в защитном лесоразведении и озеленении [4].

В защитных лесных насаждениях южных регионов широко используется жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), которая представляет собой кустарник высотой 1-3 м. Данная порода используется в лесостепной и степной зонах для создания полезащитных насаждений, закрепления смытых склонов, берегов балок, откосов оврагов, для облесения песков, а также является отличным медоносом [23].

Возможность размножения интродуцированных растений является одним из основных условий при определении перспективности введения их в культуру [13].

В ходе анализа современных литературных источников выявлено, что в основном ведутся работы по вегетативному размножению ценных коммерческих сортов жимолости съедобной [1, 2, 18]. Поэтому актуально изучить особенности размножения других видов *Lonicera*, которые перспективны для защитного лесоразведения и городского озеленения.

Для эффективного вегетативного размножения древесно-кустарниковых применяют различные препараты, стимулирующие рост и корнеобразование [5]. Среди них наиболее эффективными и часто используемыми являются препараты «Корневин», «Гетероауксин», «Циркон» и «Эпин-экстра» [14, 19, 22]. В состав препаратов, стимулирующих процессы ризогенеза, обычно входят ауксины (природные гормоны), такие как индол-3-масляная кислоты (ИМК), индол-3-уксусная (ИУК) и 1-нафталинуксусная кислота (НУК), но также они используются в виде чистого вещества. Так, в работах Филипповой было выявлено эффективное действие ИМК на укоренение сортов жимолости [20, 21].

В исследованиях по размножению сортов жимолости съедобной был выявлен положительный эффект от обработки препаратами «Корневин», «Циркон», «Эпин» [18].

Положительное влияние НУК и ИУК при размножении подвоев груши описывает в своих работах Зацепина И. В. Так, в результате были выделены сорта, способные укореняться на данных стимуляторах с частотой ризогенеза свыше 60,0%. Из укоренившихся зеленых черенков были получены здоровые корнесобственные саженцы для дальнейшего использования в селекционных процессах [9, 10].

Целью нашего исследования являлась оценка эффективности размножения видов рода *Lonicera* при черенковании полуодревесневшими побегами и выявление оптимального стимулятора роста для обработки и укоренения черенков.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе лаборатории биотехнологий ФНИЦ агроэкологии РАН в 2022 году. Объектами исследования стали три вида жимолости – татарская (*L. tatarica*), Королькова (*L. korolkowii*) и Морроу (*L. morrowii*), произрастающие на территории дендрария ФНИЦ агроэкологии РАН (кадастр. № 34:34:060061:10) (рисунок 1). Данные породы рекомендуются для лесных мелиораций аридных регионов России [16]. *L. morrowii* засухоустойчива, морозостойка, устойчива к вредителям и болезням, а также обладает достаточно высокой декоративной долговечностью (25-30 лет) [12].

В начале июля полуодревесневшие побеги срезали со взрослых представителей видов *Lonicera* и заготавливали черенки длиной 15-20 см, содержащие около 2-3 междоузлия. Для стимуляции роста и корнеобразования применяли растворы таких препаратов, как индол-3-масляная кислота (ИМК), 1-нафталинуксусная кислота (НУК), индол-3-уксусная кислота (ИУК), «Циркон» и «Эпин-экстра». Их действующие вещества, концентрации и время экспозиции представлены в таблице 1. Перед обработкой черенков удаляли нижние листья и делали косой срез у основания. Далее черенки держивали в растворах со стимуляторами, после чего переносили в теплицу с естественным освещением (рисунок 2). Обработку черенков препаратом «Корневин» проводили согласно рекомендациям производителя, путем опудривания, непосредственно перед посадкой в субстрат. В состав субстрата входили торф и речной песок в соотношении 1:1 (слой торфа и сверху слой песка).

Обработанные растворами препаратов черенки высаживали в заранее увлажненный грунт под углом около 45° и на расстоянии 5 см друг от друга. Полив проводили 3-4 раза в сутки мелкодисперсным опрыскиванием по 10 минут в течение 3-4-х недель до начала образования корней, после чего частоту полива снижали до 1-2-х раз в сутки.

Эффективность действия используемых в опыте стимулирующих препаратов оценивали по их влиянию на частоту ризогенеза, качественные показатели развития корневой системы (длина и число корней), а также по приросту побега у черенков.

Таблица 1 – Характеристика стимуляторов роста, используемых в опыте
Table 1 – Characteristics of growth stimulants used in the experiment

№	Название стимулятора роста	Действующее вещество	Концентрация раствора	Экспозиция, ч
1	индолил-3-масляная кислота (ИМК)	индолил-3-масляная кислота	1 мг/л	16
2	1-нафталинуксусная кислота (НУК)	1-нафталинуксусная кислота	1 мг/л	16
3	индол-3-уксусная кислота (ИУК)	индолил-3-уксусная кислота	1 мг/л	16
4	«Корневин»	индолилмасляная кислота (ИМК)	-	-
5	«Циркон»	0,1 г/л гидроксикоричные кислоты	0,25 мл/л	16
6	«Эпин-экстра»	0,025 г/л 24-эпибрасинолид	1 мл/л	16

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ MS Excel 2016. Результаты представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Статистическую значимость различий полученных результатов проверяли с использованием U-теста Манна-Уитни ($p < 0,05$).

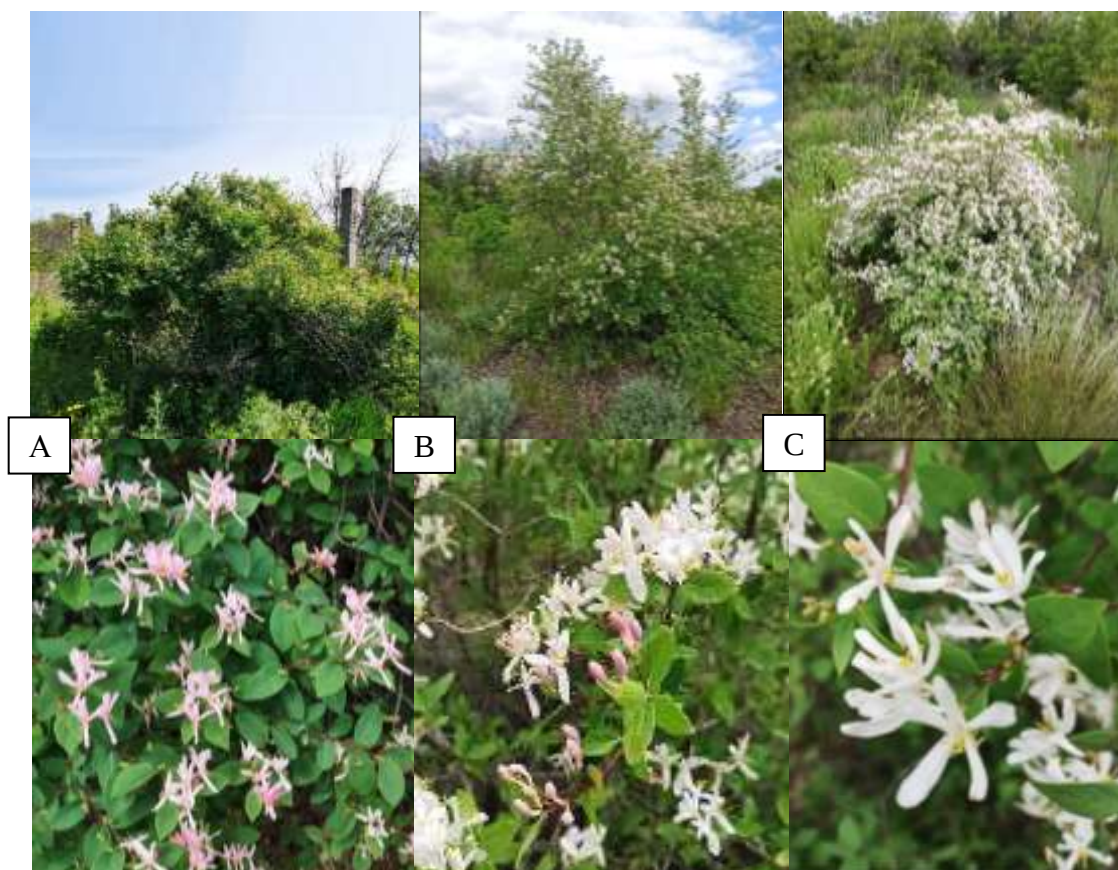


Рисунок 1 – Виды *Lonicera* L. в условиях произрастания дендрария ФНЦ агроэкологии РАН (фото сделаны в мае 2023 г.): А – *Lonicera tatarica*; В – *Lonicera korolkowii*; С – *Lonicera morrowii*
Figure 1 – Species of *Lonicera* L. in the growing conditions of the arboretum of the FSC of Agroecology of the RAS (the photo was taken in May 2023): А – *Lonicera tatarica*; В – *Lonicera korolkowii*; С – *Lonicera morrowii*



Рисунок 2 – Подготовка и посадка черенков жимолости (А – замачивание в стимуляторах роста; В – посадка черенков в условия теплицы; С – укоренившиеся черенки жимолости спустя 3 месяца после посадки)

Figure 2 – Treatment and planting of honeysuckle cuttings (A – soaking in growth stimulants; B – planting cuttings in greenhouse conditions; C – rooted honeysuckle cuttings 3 months after planting)

Результаты и обсуждение. В результате анализа полученных данных при сравнении влияния типа стимулятора на частоту ризогенеза статистически значимых различий выявлено не было. Все три вида *Lonicera* обладали высокой способностью к корнеобразованию, и число укоренившихся образцов составило 87,0-93,0% (таблица 1). Однако наблюдались значимые различия по результатам других анализируемых показателей, таких как прирост побега, длина и число корней (рисунок 3-5).

Таблица 2 – Влияние стимуляторов роста на частоту ризогенеза при черенковании видов рода *Lonicera* L.

Table 2 – The effect of growth stimulants on the frequency of rhizogenesis when cuttings of species of the genus *Lonicera* L.

Тип стимулятора	Вид <i>Lonicera</i>		
	<i>L. tatarica</i>	<i>L. korolkowii</i>	<i>L. morrowii</i>
Частота ризогенеза, %			
ИМК	93,0 ± 3,0	87,0 ± 7,0	93,0 ± 3,0
НУК	90,0 ± 6,0	90,0 ± 10,0	87,0 ± 9,0
ИУК	87,0 ± 9,0	97,0 ± 3,0	87,0 ± 3,0
«Корневин»	87,0 ± 7,0	87,0 ± 3,0	87,0 ± 9,0
«Циркон»	87,0 ± 13,0	87,0 ± 9,0	87,0 ± 3,0
«Эпин-экстра»	93,0 ± 3,0	87,0 ± 3,0	90,0 ± 6,0



Рисунок 3 – Эффективность стимуляторов роста при черенковании *L. tatarica*
Figure 3 – Efficiency of growth stimulants in *L. tatarica* cuttings

На рисунке 3 представлены результаты влияния стимуляторов роста на морфометрические показатели черенков *L. tatarica*. В целом все стимуляторы оказали положительный эффект, однако лучший результат наблюдался при обработке черенков препаратом «Циркон». Значимых различий по средней длине корня на разных стимуляторах в основном не отмечалось, и данный показатель составил 8,1-9,5 см, за исключением образцов, обработанных ИМК, где наблюдалось его снижение в два раза. Максимальная длина прироста побега была отмечена на трех вариантах стимуляторов: ИМК, ИУК и «Циркон» и составила 11,2-12,2 см. Несмотря на высокие показатели длины корней (8,1-8,4 см) у образцов, обработанных «Корневином» и НУК среднее число корней составило всего 2,5, что снижает эффективность данных стимуляторов. «Эпин-экстра» в целом дал хороший эффект, однако результаты прироста побега и длины корней немного уступали результатам, полученным на «Цирконе».



Рисунок 4 – Эффективность стимуляторов роста при черенковании *L. korolkowii*
Figure 4 – Efficiency of growth stimulants in *L. korolkowii* cuttings

На рисунке 4 наглядно отражена высокая эффективность обработки черенков *L. korolkowii* препаратом «Корневин». На данном стимуляторе был получен самый высокий прирост побега – 15,8 см, число корней составило 3,8, а их длина – 5,2 см. «Циркон» также дал хороший результат по длине и числу корней, однако из-за вдвое сниженного прироста побега оказался менее эффективным. Несмотря на полученную максимальную длину корней, образцы с обработкой раствором ИМК практически не образовывали прироста и число корней также было минимальным – 2,5. Обработка черенков *L. korolkowii* препаратом «Эпин-экстра» также оказалась неэффективной, так как прирост побега составил всего 1,7 см.

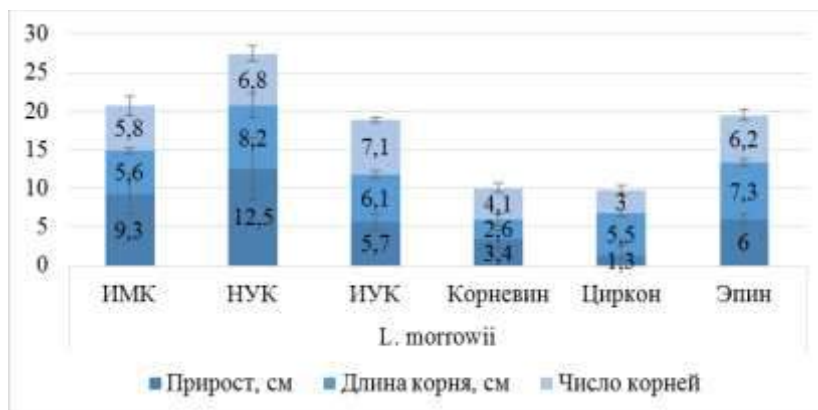


Рисунок 5 – Эффективность стимуляторов роста при черенковании *L. morrowii*
Figure 5 – Efficiency of growth stimulants in *L. morrowii* cuttings

Данные графика, представленного на рисунке 5, свидетельствуют об эффективности обработки черенков *L. morrowii* раствором НУК. У опытных образцов наблюдались максимальная длина корней и прироста побега – 8,2 и 12,5 см соответственно, а число корней в среднем составило 6,8. «Корневин» и «Циркон» показали самые низкие результаты по всем исследуемым параметрам. Между результатами с обработкой растворами ИУК и «Эпин-экстра» существенных различий выявлено не было. В целом оба препарата положительно повлияли на все исследуемые параметры: длина корней составила 6,1-7,3 см, их число – 6,2-7,1, а длина прироста побега 5,7-6,0 см.

Ниже, на рисунке 6, представлено визуальное сравнение результатов образцов видов *Lonicera*, полученных на оптимальном и менее эффективном стимуляторе.



Рисунок 6 – Укоренившиеся черенки жимолости через 3 месяца после посадки (А – *L. tatarica* «Циркон»; В – *L. korolkowii* «Корневин»; С – *L. morrowii* «НУК»; D – *L. tatarica* «Корневин»; E – *L. korolkowii* «Эпин»; F – *L. morrowii* «Циркон»)

Figure 6 – Rooted cuttings of honeysuckle 3 months after planting (A – *L. tatarica* "Zircon"; B – *L. korolkowii* "Kornevin "; C – *L. morrowii* "NAA"; D – *L. tatarica* – "Kornevin"; E – *L. korolkowii* "Epin-extra"; F – *L. morrowii* – "Zircon")

Выводы. Для эффективного вегетативного размножения летними полуодревесневшими черенками видов рода *Lonicera* было применено и изучено 6 типов стимуляторов роста. Полученные результаты показали высокую способность *L. tatarica*, *L. korolkowii* и *L. morrowii* к размножению: число укоренившихся черенков составило 87,0-93,0%, и разница значений данного показателя на разных стимуляторах не являлась статистически значимой. Однако, наблюдалась видоспецифичность реакции при сравнении остальных анализируемых параметров (прирост побега, длина и число корней), где было отмечено, что на каждый вид отдельный препарат действовал неодинаково. Поэтому на основании анализа комплекса изучаемых параметров были выявлены наиболее эффективные стимуляторы для каждого исследуемого вида *Lonicera*.

Таким образом, при черенковании *L. tatarica* одновременно высокие значения всех изучаемых параметров наблюдались в случае обработки раствором препарата «Циркон»: длина корней составила – 11,2 см, прирост – 9,2 см, а число корней – 5,5. Для *L. korolkowii* наиболее

эффективным показал себя препарат «Корневин», при котором наблюдался самый высокий прирост – 15,8 см, а длина и число корней составили 5,2 см и 3,8 соответственно. У образцов *L. morrowii* лучшие результаты были отмечены на стимуляторе НУК: длина корней составила 8,2 см, прирост 12,5 см, а число корней 6,8.

В результате исследования путем размножения полуодревесневшими летними черенками был получен высокий процент выхода корнесобственных растений трех видов жимолости, перспективных для посадки в лесозащитных целях, а также для озеленения города. В дальнейшем данное исследование планируется продолжить.

Conclusions. For effective vegetative reproduction, 6 types of growth stimulants were used and studied by summer semi-woody cuttings of *Lonicera* species. The obtained results showed a high ability of *L. tatarica*, *L. korolkowii* and *L. morrowii* to reproduce: the number of entrenched cuttings was 87.0-93.0%, and the difference in values of this indicator on different stimulants was not statistically significant. However, a species-specific response was observed when comparing the remaining analyzed parameters (shoot gain, length and number of roots), where it was noted that the individual drug acted differently for each species. Therefore, based on the analysis of the complex of studied parameters, the most effective stimulants for each studied *Lonicera* species were identified.

Thus, upon cuttings of *L. tatarica*, at the same time, high values of all studied parameters were observed in the case of treatment with the Zircon solution: the length of the roots was 11.2 cm, the increase was 9.2 cm, and the number of roots was 5.5. For *L. korolkowii*, the drug "Kornevin" proved to be the most effective, in which the highest increase was observed - 15.8 cm, and the length and number of roots were 5.2 cm and 3.8, respectively. In *L. morrowii* samples, the best results were noted on the NUK stimulant: root length was 8.2 cm, gain 12.5 cm, and root number 6.8.

As a result of the study, by breeding semi-woody summer cuttings, a high percentage of the yield of root-bearing plants of three types of honeysuckle, promising for planting for forest protection purposes, as well as for landscaping the city, was obtained. In the future, this study is planned to be continued.

Библиографический список

1. Hayes D. J., Peterson B. J. Vegetative propagation of mountain fly honeysuckle (*Lonicera villosa*) by overhead mist and subirrigation. HortScience. 2019. V. 54. No 5. Pp. 916-919.
2. Kadhim Z. K., Al-Shareefi M. J. H., Lateef S. M. Effect of growth regulators on in vitro micropropagation of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.). Research on Crops. 2019. V. 20. No 3. Pp. 635-641.
3. Yuan W., Y. Ma, He S., Chang D., He Y. Characterization of the complete chloroplast genome of *Lonicera tatarica* L.(Caprifoliaceae). Mitochondrial DNA Part B. 2021. V. 6. No 7. Pp. 1871-1872.
4. Асташина С. И. Применение стимуляторов роста при вегетативном размножении жимолости зелеными черенками. Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий. 2017. С. 283-286.
5. Асташина С. И., Кислицына А. А., Семизельникова О. А. Размножение жимолости съедобной зелеными черенками в условиях Курганской области. Актуальные проблемы экологии и природопользования. 2018. С. 7-11.
6. Васильева Н. А., Чирипов А. В. Процесс корнеобразования зеленых черенков смородины черной и жимолости с применением микрокапельного полива. Форум молодых ученых. 2022. № 12 (76). С. 38-47.
7. Демидова Н. А., Дуркина Т. М., Глаголева Л. Г. Коллекция красивоцветущих кустарников дендрологического сада им. В. Н. Нилова «СевНИИЛХ». Лесохозяйственная информация. 2021. № 1. С. 56-72.
8. Зацепина И. В. Влияние регуляторов роста на укоренение зеленых черенков сортов и форм груши. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. 2015. С. 83-85.
9. Зацепина И. В. Физиологические аспекты использования стимулятора роста анафтилукусной кислоты для выращивания клоновых подвоев груши. Аграрный вестник Нечерноземья. 2021. № 4 (4). С. 6-9.

10. Зюбровская А. В. Биологические особенности и способы размножения жимолости. Сборник материалов XXIII научно-технической студенческой конференции. 2017. С. 101-104.
11. Козловский Б. Л., Федоринова О. И., Куропятников М. В. Итоги интродукции видов семейства *Caprifoliaceae* Juss. в ботаническом саду ЮФУ. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 131. С. 616-631.
12. Малышева С. К. Размножение интродуцированных видов жимолости в дендрарии Горнотаежной станции ДВО РАН. Вестник КрасГАУ. 2010. № 9. С. 46-49.
13. Нигматзянов Р. А., Бурменко Ю. В., Сорокопудов В. Н. Оценка применения биорегуляторов роста при зеленом черенковании смородины золотистой. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 5. С. 41-46.
14. Семенютина А. В., Шилов Е. П. Интродукция видов рода *Amelanchier* Medik. и перспективы их использования в многофункциональных лесонасаждениях. Известия НВ АУК. 2013. № 3 (31). С. 79-83.
15. Семенютина А.В. Дендрофлора лесомелиоративных комплексов. Волгоград: ВНИ-АЛМИ, 2013. 266 с.
16. Мартынюк А. А., Турчин Т. Я., Чеплянский И. Я., Кулик А. К. Современное состояние государственных защитных лесных полос степной и полупустынной зон, основные направления их сохранения и реабилитации. Известия НВ АУК. 2023. № 1 (69). С. 78-91.
17. Сучкова С. А., Абзалтденов Т. З. Влияние регуляторов роста на морфофизиологические изменения в зеленых черенках жимолости. Известия ФНЦО. 2019. № 1. С. 115-117.
18. Фещенко Е. М., Аминова Е. В., Воронцова Е. С. Оценка последствий стимуляторов роста на морфометрические показатели черенков *Thuja occidentalis* и *Thuja occidentalis* «Smaragd». Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 132-141.
19. Филиппова А. С., Жаркова С. В. Использование раствора индолилмасляной кислоты при размножении жимолости синей зелеными черенками. Научные труды СКФНЦСВВ. 2022. Т. 35. С. 23-25.
20. Филиппова А. С., Жаркова С. В. Использование стимулятора роста для усиления окореняемости черенков жимолости синей. Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. 2022. С. 304-310.
21. Хайрова Л. Н. Влияние биологически активных веществ на укоренение зелёных черенков парковых роз. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 42. С. 42-45.
22. 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.

References

1. Hayes D. J., Peterson B. J. Vegetative propagation of mountain fly honeysuckle (*Lonicera villosa*) by overhead mist and subirrigation. HortScience. 2019. V. 54. No 5. Pp. 916-919.
2. Kadhim Z. K., Al-Shareefi M. J. H., Lateef S. M. Effect of growth regulators on in vitro micropropagation of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.). Research on Crops. 2019. V. 20. No 3. Pp. 635-641.
3. Yuan W., Y. Ma, He S., Chang D., He Y. Characterization of the complete chloroplast genome of *Lonicera tatarica* L.(Caprifoliaceae). Mitochondrial DNA Part B. 2021. V. 6. No 7. Pp. 1871-1872.
4. Astashina S. I. Application of growth stimulants in vegetative honeysuckle propagation by green cuttings. Scientific support for the implementation of state programs of the agro-industrial complex and rural areas. 2017. Pp. 283-286.
5. Astashina S. I., Kislitsyna A. A., Semizelnikova O. A. Propagation of honeysuckle with edible green cuttings in the conditions of the Kurgan region. Current problems of ecology and nature management. 2018. Pp. 7-11.

6. Vasilyeva N. A., Chiripov A. V. The process of root formation of green cuttings of black currant and honeysuckle using microcapel irrigation. Young Scientists Forum. 2022. № 12 (76). Pp. 38-47.
7. Demidova N. A., Durkina T. M., Glagoleva L. G. Collection of beautiful flowering shrubs of the dendrological garden named after V. N. Nilov "SevNIILH." Forestry information. 2021. № 1. Pp. 56-72.
8. Zatsepina I. V. The influence of growth regulators on the rooting of green cuttings of varieties and forms of pears. Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex. 2015. Pp. 83-85.
9. Zatsepina I. V. Physiological aspects of using the α -naphthalenylacetic acid growth stimulant for growing pear rootstocks. Agricultural Bulletin of the Non-Black Earth Region. 2021. № 4 (4). Pp. 6-9.
10. Zyubrovskaya A. V. Biological features and methods of honeysuckle reproduction. Collection of materials of the XXIII scientific and technical student conference. 2017. Pp. 101-104.
11. Kozlovsky B. L., Fedorinova O. I., Kuropyatnikov M. V. Results of introduction of species of the family Caprifoliaceae Juss. in the botanical garden of SFU. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2017. № 131. Pp. 616-631.
12. Malysheva S. K. Reproduction of introduced honeysuckle species in the arboretum of the Gornotaezhnaya station of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Vestnik KrasGAU. 2010. № 9. Pp. 46-49.
13. Nigmatzyanov R. A., Burmenko Yu. V., Sorokopudov V. N. Assessment of the use of growth bioregulators in green cutting of golden currants. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2018. № 5. Pp. 41-46.
14. Semenyutina A. V., Shilov E. P. Introduction of species of the genus Amelanchier Medik. and prospects for their use in multifunctional forest plantations. Izvestia NV AUK. 2013. № 3 (31). Pp. 79-83.
15. Semenyutina A. V. Dendroflora of forest and reclamation complexes. Volgograd: VNIALMI, 2013. 266 p.
16. Martynyuk A. A., Turchin T. Ya., Cheplyansky I. Ya., Kulik A. K. The current state of state protective forest strips of the steppe and semi-desert zones, the main directions of their preservation and rehabilitation. Izvestia NV AUK. 2023. № 1 (69). Pp. 78-91.
17. Suchkova S. A., Abzaltdenov T. Z. Influence of growth regulators on morphophysiological changes in green honeysuckle cuttings. Izvestia FNTSO. 2019. № 1. Pp. 115-117.
18. Feschenko E. M., Aminova E. V., Vorontsova E. S. Assessment of the effect of growth stimulants on morphometric indicators of Thuja occidentalis and Thuja occidentalis "Smaragd" cuttings. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. № 4 (64). Pp. 132-141.
19. Filippova A. S., Zharkova S. V. Use of indolyl butyric acid solution in the propagation of honeysuckle with blue green cuttings. Scientific works of SKFNTSVV. 2022. V. 35. Pp. 23-25.
20. Filippova A. S., Zharkova S. V. Using a growth stimulant to enhance the rootability of honeysuckle cuttings with blue. Agro-industrial complex: problems and development prospects. 2022. Pp. 304-310.
21. Khairova L. N. The influence of biologically active substances on the rooting of green cuttings of park roses. News of St. Petersburg State Agrarian University. 2016. № 42. Pp. 42-45.
22. Chepurinov V. S., Maksimov D. V. Practical agroforestry: Methodological Guidelines for the Study of Ecological and Biological Features and Morphological Features of Tree Species for Protective Forest Development. Krasnodar, 2016. 98 p.

Информация об авторах

Терещенко Татьяна Васильевна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID 0000-0001-9116-6062, e-mail: tereshchenko@vfanc.ru

Жолобова Ольга Олеговна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97), ORCID 0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Author's Information

Tereshchenko Tatyana Vasilievna, junior researcher at the biotechnology laboratory of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr. Universitetskiy, 97), ORCID 0000-0001-9116-6062, e-mail: tereschenko@vfanc.ru

Zholobova Olga Olegovna, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Biotechnology Laboratory of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr. Universitetskiy, 97), ORCID 0000-0002-1594-4181, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Selection, Seed Production and Nursery Production of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr. Universitetskiy, 97), ORCID 0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

ЗООТЕХНИКА И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-25

PRODUCTIVE QUALITIES OF KALMYK BREED YOUNG BULLS USING A NEW LACTULOSE-CONTAINING FEED ADDITIVE

I. F. Gorlov^{1,2}, M. I. Slozhenkina^{1,2}, D. V. Nikolaev¹, S. A. Surkova¹,
K. E. Badmaeva^{1,3}, V. S. Ubushieva^{1,3}, D. A. Mosolova¹

¹Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products

²Volgograd State Technical University

Volgograd, Russian Federation

³Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov

Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 18.09.2023

Submitted 08.11.2023

Abstract

Introduction. Beef cattle breeding is a significant segment of the Russian agricultural production economy. At the same time, an important component of its success is ensuring the required volume of gross production of meat and meat products and the level of their representation in the country's food market. A significant resource in increasing beef production can be the use of various additives, premixes, and feed products developed based on biologically active substances and having a functional focus in feeding cattle. **Object.** Young bulls of the Kalmyk breed, 8 months old **Materials and methods.** The experiment was carried out based on Agrofirma Aduchi LLC, Republic of Kalmykia, on two groups of bulls: "control" and "experience", 30 heads each. Animals of the first group (control) received feed (compound feed) of 3.5 kg per head; for bulls of the other group (experiment), the feed was mixed with the feed additive "Laktuvet-1" in an amount of 0.5% by weight of the concentrates. The duration of the experiment was 240 days. **Results and conclusions.** Animals that received the feed additive "Laktuvet-1" as part of the diet exceeded their analogues in the "control" group in live weight at the age of 16 months. by 1.47% ($P \geq 0.95$). The absolute growth in live weight over the entire period of the experiment was 228.24 kg, which is higher than in the "control" group by 6.63 kg, or 2.99% ($P \geq 0.99$). The physiological health parameters of all experimental animals were within physiological norms. In general, the introduction of the feed additive "Laktuvet-1" at a dosage of 0.5% of the weight of concentrated feed into the diets of Kalmyk breed young bulls contributed to the positive dynamics of all indicators studied during the experiment.

Key words: lactulose-containing feed additives, immunoglobulins, live weight of bulls, bovine exterior, bovine physique indices.

Citation. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Nikolaev D. V., Surkova S. A., Badmaeva K. E., Ubushieva V. S., Mosolova D. A. Productive qualities of Kalmyk breed young bulls using a new lactulose-containing feed additive. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 244-253 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-25.

Author's contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.2.084

ПРОДУКТИВНЫЕ КАЧЕСТВА БЫЧКОВ КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВОЙ ЛАКТУЛОЗОСОДЕРЖАЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

И. Ф. Горлов^{1,2}, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
М. И. Сложенкина^{1,2}, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор

Д. В. Николаев¹, доктор сельскохозяйственных наук

С. А. Суркова¹, старший научный сотрудник

К. Е. Бадмаева^{1,3}, кандидат биологических наук, доцент

В. С. Убушиева^{1,3}, соискатель

Д. А. Мосолова¹, соискатель

¹Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции

²Волгоградский государственный технический университет
г. Волгоград, Российская Федерация

³Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова
г. Элиста, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 22-16-00041, ГНУ НИИММП

Актуальность. Мясное скотоводство является значимым сегментом экономики сельскохозяйственного производства России. При этом важная составляющая его успешности – это обеспечение требуемого объема валового производства мяса и мясoproдуктов и уровень их представленности на продовольственном рынке страны. Существенным ресурсом в наращивании производства говядины может стать применение в кормлении крупного рогатого скота различных добавок, премиксов, кормовых средств, разработанных на основе биологически активных веществ и имеющих функциональную направленность. **Объект.** Бычки калмыцкой породы 8-месячного возраста. **Материалы и методы.** Эксперимент проведен на базе ООО «Агрофирма «Адучи» Республики Калмыкия на двух группах бычков: «контроль» и «опыт», по 30 голов в каждой. Животным первой группы в расчете на одну голову давали подкормку (комбикорм) 3,5 кг (контроль), бычкам другой группы проводили смешивание комбикорма с кормовой добавкой «Лактувет-1» в количестве 0,5% от массы концентратов (опыт). Продолжительность эксперимента составила 240 дней. **Результаты и выводы.** Животные, получавшие в составе рациона кормовую добавку «Лактувет-1», превосходили аналогов группы «контроль» по живой массе в возрасте 16 мес. на 1,47% ($P \geq 0,95$). Абсолютный прирост живой массы за весь период опыта составил 228,24 кг, что выше по сравнению с группой «контроль» на 6,63 кг, или 2,99% ($P \geq 0,99$). Параметры физиологического здоровья всех подопытных животных находилась в пределах физиологических норм. В целом введение кормовой добавки «Лактувет-1» в дозировке 0,5% от массы концентрированных кормов в рационы бычков калмыцкой породы способствовало положительной динамике всех изучаемых в ходе эксперимента показателей.

Ключевые слова: лактулозосодержащие кормовые добавки, иммуноглобулины, живая масса бычков, экстерьер бычков, индексы телосложения бычков.

Цитирование. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Николаев Д. В., Суркова С. А., Бадмаева К. Е., Убушиева В. С., Мосолова Д. А. Продуктивные качества бычков калмыцкой породы при использовании новой лактулозосодержащей кормовой добавки. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 244-253. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-25.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В странах с развитым скотоводством, в том числе и в России, оно построено на усилении индустриализации в животноводческой отрасли, что способствует созданию все более крупных аграрных холдингов. Такая целенаправленная политика государства и его поддержка аграрного сектора за последние годы способствовали полному обеспечению населения страны мясом птицы и свининой, но вопрос снабжения населения страны говядиной и выхода на импорт остается достаточно острым и требует новых подходов [14].

Применяемая в России технология производства говядины во многом опирается на пастбищный откорм с довольно длительным периодом, но, как следствие и, малоэффективным. При этом типе выращивания скотоводам приходится обращать внимание на адаптационные способности животных к конкретным климатическим условиям региона [1, 3, 8].

Однако мировая практика идет по пути сочетания пастбищного и стойлового откорма, при этом в обоих случаях максимально используются грубые корма, поскольку они наиболее дешевы и доступны.

Промышленная технология получения говядины предусматривает использование скота молочных и комбинированных пород, а также помесей.

Общеизвестный подход к выращиванию скота мясного направления продуктивности – это система «корова-теленки», которая предусматривает системы доращивания и откорма. Следует отметить, что в европейских странах такая система применяется в случае дополнительных резервов для получения говядины от выбракованного скота молочного направления продуктивности. Использование такой системы в реальных условиях хозяйства увеличивает затраты на выращивание телят от 60 до 70% [13, 15]. Вместе с тем в США, Канаде, Бразилии, Аргентине, Австралии, Новой Зеландии и Уругвае, в европейских странах, включая Францию, Великобританию и Ирландию, а также в странах Африки к югу от Сахары в основном используют пастбищный и лугопастбищный типы откорма скота [5, 18]. При этом это всегда специальные пастбища, которые были усовершенствованы для лучшего кормления животных. Пастбища используют во всех странах, занимающихся выращиванием скота, как в начальный период выращивания, так и на протяжении всего откорма. Использование системы откормочных площадок связано с довольно значительными затратами на кормление и повышенными тратами на организацию такого производства, и поэтому эта система откорма скота применяется только в странах с высоким уровнем поддержки сельскохозяйственных предприятий с экономической точки зрения. При пастбищной системе выращивания крупного рогатого скота зачастую используют отходы растениеводства, пищевой и перерабатывающей промышленности в качестве кормовых добавок для восполнения недостатков в питательных веществах и обеспечения полноценного сбалансированного кормления в период откорма и для племенных животных, с тем чтобы они имели высокие приросты живой массы [4, 10, 11].

Из вышеизложенного следует, что для полноценного пастбищного откорма животных необходимо подкармливать высококачественными кормовыми добавками, обеспечивающими их недостающими макро- и микроэлементами, а также способствующими более высокому усвоению и перевариванию питательных веществ корма.

Сотрудниками ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства продукции животноводства» (г. Волгоград) разработана серия лактулозосодержащих кормовых добавок: «Лактумин-1», «Лактувет-1» и др., которые оказывают положительное влияние на формирование в желудочно-кишечном тракте животных бифидофлоры, оказывающей интенсивное влияние на обменные процессы, протекаю-

щие в их организме, что способствует повышению иммунитета, увеличению продуктивности и снижает риски заболевания дисбактериозом. Все это оказывает положительное влияние на рост уровня рентабельности производства продукции.

Целью наших исследований явилось изучение эффективности включения в состав кормового рациона новой кормовой добавки и ее воздействия на физиологическое состояние бычков калмыцкой породы, их рост и развитие.

Материал и методы. Для проведения эксперимента на базе ООО «Агрофирма «Адучи» Республики Калмыкия отобрали две группы бычков калмыцкой породы 8-месячного возраста по 30 голов в каждой. В хозяйстве созданы условия, соответствующие стандартной технологии выращивания мясного скота.

Уровень кормления подопытного молодняка рассчитывали при помощи пакета программ «КормОптимЭксперт» (Россия) и «Hybrimin®Futter5 Multilingual» (Германия) для достижения 950-1000 г среднесуточного прироста. При этом ориентировались на нормы кормления сельскохозяйственных животных (Клейменов Н. И., Стрекозов Н. И., Калашников А. П. и др., 2003).

В хозяйстве практикуется круглогодовой выпас поголовья на пастбищах. При этом животным первой группы в расчете на одну голову давали подкормку (комбикорм) 3,5 кг (контроль), бычкам другой группы проводили смешивание комбикорма с кормовой добавкой «Лактувет-1» в количестве 0,5% от массы концентратов (опыт). Раздачу комбикорма осуществляли в вечернее время.

Лабораторные исследования по анализу показателей крови и качеству мяса проводили в условиях лабораторий: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста «Функциональной и эволюционной геномики животных», ОНИС БиоТехЖ и центре «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных», (г. Москва).

Полученные в ходе эксперимента образцы мяса подвергали исследованиям по общепринятым показателям: влагу устанавливали высушиванием проб мяса до постоянной неизменяющейся массы; жир – извлечением на аппарате Сокслета; белок – по содержанию азота в специальных колбах Кьельдаля с изотермической отгонкой в чашках Конвея; триптофан и оксипролин по методам: первый – Снайза и Чемберса, а второй – Неймана и Логана. Расчет белкового качественного показателя (БКП) проводили путем отношения триптофана к оксипролину.

Содержание в сыворотке крови подопытных животных специфичных иммуноглобулинов определяли по Манчини (метод радиальной иммунодиффузии) в двойной повторности. Для установления классов иммуноглобулинов использовали известные моноспецифические антисыворотки и антитела для референтного образца [16, 17].

Результаты, представленные в эксперименте, обрабатывали методами вариационной статистики с применением универсальной программы «Excel», созданной корпорацией «Microsoft» (США) для работы с электронными таблицами, и программного пакета «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) для констатации критериев достоверности разницы изучаемых показателей.

Результаты и обсуждение. В состав комбикорма для бычков из группы «опыт» включали смесь концентратов с изучаемой добавкой «Лактувет-1», что и предопределило необходимость исследования особенностей их физиологического состояния, а также аналогов из группы «контроль», которым данная добавка не давалась.

Анализ крови показал, что бычки калмыцкой породы группы «опыт» превосходили аналогов группы «контроль» по содержанию эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина на 8,65 ($P \geq 0,99$); 0,51 ($P \geq 0,95$) и 2,08% соответственно. Исследователями установлено [9, 12], что при увеличении содержания гематологических показателей происходит усиление окислительно-восстановительных процессов, протекающих в организме крупного рогатого скота, являющееся предвестником роста продуктивности.

Неполноценное кормление крупного рогатого скота, и особенно молодняка, приводит к значительным нарушениям обмена веществ, которые, как правило, проявляются в иммунодефицитные периоды жизни, что критично для развития его комплексного иммунитета [2, 7]. Поэтому использование в рационах крупного рогатого скота калмыцкой породы лактулозосодержащей кормовой добавки могло оказать влияние на уровень естественной резистентности бычков и вызвало необходимость изучения развития иммунной системы у подопытного молодняка. Изучение таких показателей, как лизоцимная, бактерицидная и фагоцитарная активности, показало, что они повысились по сравнению с контролем соответственно на 1,24 ($P \geq 0,95$); 1,76 и 1,16%.

В связи с тем, что нами испытывалась кормовая добавка «Лактувет-1», которая стимулирует уровень обмена энергии и питательных веществ внутри организма животного, мы изучили содержание в сыворотке крови бычков иммуноглобулинов, которое напрямую зависит от нормализации обменных процессов [6]. Результаты по содержанию иммуноглобулинов LgG, LgM и LgA в сыворотке крови бычков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание иммуноглобулинов в сыворотке крови бычков при использовании лактулозосодержащей кормовой добавки, мг/мл
Table 1 – Immunoglobulin content in bovine serum when used a lactulose-containing feed additive, mg/ml

Иммуноглобулины	Группа	
	контроль	опыт
LgG	23,07±0,09	23,86±0,13**
LgM	2,71±0,03	2,86±0,06
LgA	0,66±0,02	0,77±0,03*

Анализ полученных данных показал, что у бычков из группы «опыт», которым в смеси с концентратами давали новую добавку «Лактувет-1», количество иммуноглобулинов LgG, LgM и LgA в сыворотке крови превышало аналогичный показатель животных из группы «контроль» на 3,42 ($P \geq 0,99$); 5,53 и 16,67%.

Следует особо остановиться на том, что у получавших лактулозосодержащую добавку «Лактувет-1» бычков произошло увеличение иммуноглобулинов, являющееся отражением процессов повышенного метаболизма, протекающего в желудочно-кишечном тракте, для образования специфических ферментов, необходимых в питании микроорганизмов, которые и вырабатывают иммуноглобулины.

Таким образом, усиление процессов метаболизма, протекающего в организме животных, получавших кормовую добавку, в сравнении с не получавшими косвенно могло способствовать и повышению мясной продуктивности.

Усиление роста бифидофлоры в желудочно-кишечном тракте способствовало более быстрой адаптации её при использовании различных препаратов, связанных с физиологическими потребностями животных, например, антибиотиков и др. средств (рисунок 1).

Животные калмыцкой породы, получавшие в дополнение к обычному рациону кормовую добавку «Лактувет-1», были больше по сравнению с аналогами из группы «контроль» в возрастном аспекте: 10 мес. – на 1,02%; 12 мес. – на 1,84% ($P \geq 0,95$); 14 мес. – на 2,16% ($P \geq 0,99$); 16 мес. – на 1,47% ($P \geq 0,95$) соответственно.

Расчет абсолютных приростов живой массы показал превосходство молодняка, получавшего в дополнение к основному рациону кормовую добавку «Лактувет-1». За весь период опыта они набрали 228,24 кг абсолютного прироста, что выше по сравнению с группой «контроль» на 6,63 кг, или 2,99% ($P \geq 0,99$). Отмеченная закономерность сохранилась и по среднесуточным приростам.

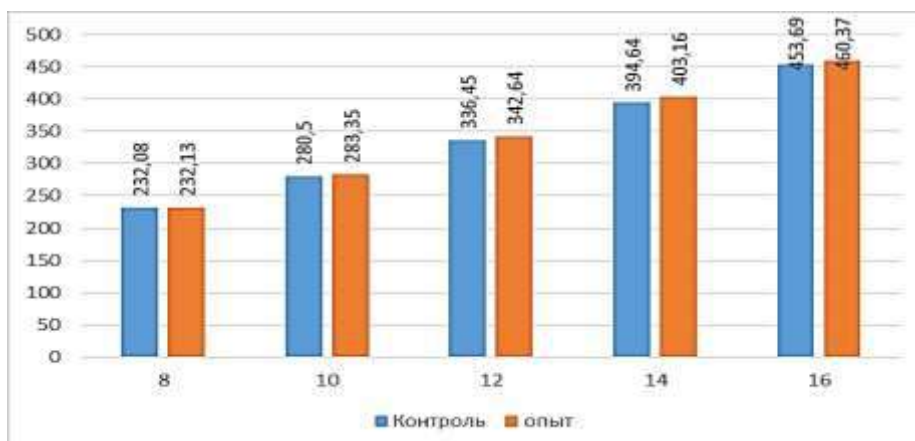


Рисунок 1 – Динамика живой массы подопытного молодняка калмыцкой породы, кг
Figure 1 – Dynamics of the living mass of experimental young Kalmyk breed, kg

Как показали результаты исследований, введение в рационы кормления молодняка крупного рогатого скота кормовой добавки «Лактувет-1» способствовало увеличению живой массы опытного поголовья.

Важным критерием оценки подопытного поголовья является изучение статей телосложения. Экспериментальным путем установлено превосходство бычков калмыцкой породы из опытной группы над аналогами из группы «контроль» по ряду показателей. Разница между животными в пользу группы «опыт» по высоте в холке составила 0,24 см (0,12%), высоте в крестце – 2,40 см (2,31% при $P \geq 0,95$), косой длине туловища – 4,20 см (3,65% при $P \geq 0,95$), обхвату груди за лопатками – 1,60 см (0,72%), ширине груди – 1,24 см (2,23% при $P \geq 0,95$), глубине груди – 1,30 см (0,96% при $P \geq 0,95$) соответственно. Другие показатели экстерьера находились примерно на одном уровне и существенных различий не имели.

Расчёт индексов телосложения показал преимущество животных из группы, получавшей кормовую добавку «Лактувет-1», по индексам массивности на 0,26, перерослости – на 0,53 и длинноногости – на 0,24. По остальным индексам телосложения существенных различий не установлено.

Выводы. Ускоренный рост бифидобактерий в желудочно-кишечном тракте подопытного молодняка по сравнению с аналогами из группы «контроль» способствовал ускоренному обмену веществ, протекающих в организме бычков, о чем свидетельствует увеличение содержания эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина в крови животных. Это позволило мобилизовать резервы организма и активизировать естественный иммунитет животных, что установлено по разнице содержания иммуноглобулинов в сыворотке крови. Все эти обстоятельства сказались на увеличении живой массы подопытного молодняка. Увеличение живой массы способствовало росту промеров телосложения, что отразилось на повышении индексов телосложения.

В целом введение кормовой добавки «Лактувет-1» в дозировке 0,5% от массы концентрированных кормов в рационы бычков калмыцкой породы способствовало положительной динамике всех изучаемых в ходе эксперимента показателей.

Conclusions. Accelerated growth of bifidobacteria in the gastrointestinal tract of experimental young animals compared to analogs from the "control" group contributed to accelerated metabolism of substances flowing in the body of bulls, as evidenced by an increase in the content of red blood cells, white blood cells and hemoglobin in the blood of animals. This made it possible to mobilize the body's reserves and activate the natural immunity of animals, which was established by the difference in the content of immunoglobulins in blood serum. All these circumstances affected the increase in the living mass of the experimental young bulls. The increase in living weight contributed to an increase in body measurements, which was reflected in an increase in body indices.

In general, the introduction of the Lactuvet-1 feed additive at a dose of 0.5% of the weight of concentrated feed into the diets of Kalmyk bulls contributed to the positive dynamics of all the parameters studied during the experiment.

Библиографический список

1. Кощаев А. Г., Тузов И. Н., Калмыков З. Т., Тузова Ю. А. Выращивание бычков мясных пород в условиях интенсивного земледелия. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 175. С. 232-245.
2. Сабитов М. Т., Фархутдинова А. Р., Маликова А. Р., Фенченко Н. Г., Хайруллина Н. И., Шамсутдинов Д. Х. Влияние комплексной минерально-витаминной кормовой добавки на гематологические и биохимические показатели крови телят. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 1. С. 27-31.
3. Приступа В. Н., Кротова О. Е., Савенков К. С., Савенкова М. Н., Сабирова И. Ю. Влияние стойлово-пастбищной технологии выращивания на продуктивность молодняка калмыцкой породы. Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3 (47). С. 11-15.
4. Матвеева Е. А., Тяпугин Е. Е., Боголюбова Л. П., Никитина С. В., Семенова Н. В., Тяпугин С. Е., Кочетков А. А. Динамика численности и продуктивности молочного и молочно-мясного скота в Российской Федерации. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 8. С. 3-6.
5. Дускаев Г. К., Харламов А. В., Левахин Г. И., Ажмулдинов Е. А., Амерханов Х. А., Мирошников С. А., Рысаев А. Ф. Краткий обзор систем производства говядины в России и в мире. Животноводство и кормопроизводство. 2022. № 3 (105). С. 78-94.
6. Кузьмина И. Ю. Метод повышения резистентности молодняка крупного рогатого скота. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 1. С. 62-70.
7. Слепцов И. И., Корякина Л. П., Мартынов А. А., Васильев Я. С., Федоров П. Б., Каюмов Ф. Г., Третьякова Р. Ф. Морфологический и биохимический составы крови у бычков разных пород крупного рогатого скота в условиях резко континентального климата Якутии. Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 1. С. 94-102.
8. Отаров А. И., Каюмов Ф. Г., Третьякова Р. Ф. Рост, развитие и мясные качества чистопородных и помесных бычков при откорме на площадке в зависимости от сезона года. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 267-272.
9. Отаров А. И., Каюмов Ф. Г., Третьякова Р. Ф. Морфологические и биохимические показатели крови бычков разных генотипов в условиях высокогорной зоны Кабардино-Балкарской республики. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (96). С. 277-281.
10. Боголюбова Л. П., Никитина С. В., Матвеева Е. А., Тяпугин Е. Е. Породный состав в племенном мясном скотоводстве России. Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 1. С. 10-12.
11. Шичкин Г. И., Лебедев С. В., Костюк Р. В., Шичкин Д. Г. Производство говядины: состояние и перспективы. Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 8. С. 2-5.
12. Садыков М. М., Симонов Г. А., Садыков Р. М. Гематологические показатели телок калмыцкого скота в условиях предгорья Дагестана. Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 2 (18). С. 120-126.
13. Федотова А. С., Козина Е. А., Макаров А. В., Ханипова В. А., Коломейцев А. В. Сетевая система содержания крупного рогатого скота в условиях Красноярского края. Ветеринария и кормление. 2023. № 5. С. 82-85.
14. Дунин И. М., Тяпугин С. Е., Мещеров Р. К. и др. Состояние мясного скотоводства в Российской Федерации: реалии и перспективы. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 2. С. 2-7.
15. Макаров А. В., Ханипова В. А., Федотова А. С., Козина Е. А., Коломейцев А. В. Сравнительная характеристика систем выращивания молодняка крупного рогатого скота для откорма. Journal of Agriculture and Environment. 2023. № 9 (37).
16. Klobasa F., Butler J. E. Absolute and relative concentrations of immunoglobulins G, M, and A, and albumin in the lacteal secretion of sows of different lactation numbers. Am. J. Vet. Res. 1987. Vol. 48 (2). Pp. 176-182.

17. Manchini G., Carbonara A. O., Heremans I. P. Immunochemical quantitation of antigens by single radial immunodiffusion. *Immunochemistry*. 1965. Vol. 2 (3). Pp. 235-254.

18. Skelhorn E. P. G., Garcia-Ara A., Nova R. J., Kinston H., Wapenaar W. Public opinion and perception of rosé veal in the UK. *Meat Science*. 2020. Vol. 167. Article number: 108032.

References

1. Koschaev A. G., Tuzov I. N., Kalmykov Z. T., Tuzova Yu. A. Growing young bulls of meat breeds in conditions of intensive agriculture. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2022. № 175. Pp. 232-245.

2. Sabitov M. T., Farkhutdinova A. R., Malikova A. R., Fenchenko N. G., Khairullina N. I., Shamsutdinov D. Kh. Effect of a complex mineral-vitamin feed additive on hematological and biochemical indicators of calf blood. *Dairy and meat cattle breeding*. 2020. № 1. Pp. 27-31.

3. Pristupa V. N., Krotova O. E., Savenkov K. S., Savenkova M. N., Sabirova I. Yu. The influence of stoilovo-pastoral growing technology on the productivity of young Kalmyk breed. *Technology and technology in animal husbandry*. 2022. № 3 (47). Pp. 11-15.

4. Matveeva E. A., Tyapugin E. E., Bogolyubova L. P., Nikitina S. V., Semenova N. V., Tyapugin S. E., Kochetkov A. A. Dynamics of the number and productivity of dairy and dairy meat cattle in the Russian Federation. *Dairy and meat cattle breeding*. 2020. № 8. Pp. 3-6.

5. Duskaev G. K., Kharlamov A. V., Levakhin G. I., Azhmuldinov E. A., Amerkhanov H. A., Miroshnikov S. A., Rysaev A. F. A brief overview of beef production systems in Russia and in the world. *Animal husbandry and feed production*. 2022. № 3 (105). Pp. 78-94.

6. Kuzmina I. Yu. Method of increasing the resistance of young cattle. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2023. V. 53. № 1. Pp. 62-70.

7. Sleptsov I. I., Koryakina L. P., Martynov A. A., Vasiliev Y. S., Fedorov P. B., Kayumov F. G., Tretyakov R. F. Morphological and biochemical blood compositions in bulls of different cattle in the sharply continental climate of Yakutia. *Animal husbandry and feed production*. 2020. V. 103. № 1. Pp. 94-102.

8. Otarov A. I., Kayumov F. G., Tretyakova R. F. Growth, development and meat qualities of purebred and crossbred bulls when fattening on the site depending on the season of the year. *News of Orenburg State Agrarian University*. 2021. № 3 (89). Pp. 267-272.

9. Otarov A. I., Kayumov F. G., Tretyakov R. F. Morphological and biochemical blood indicators of bulls of different genotypes in the conditions of the high mountain zone of the Kabardino-Balkarian Republic. *News of Orenburg State Agrarian University*. 2022. № 4 (96). Pp. 277-281.

10. Bogolyubova L. P., Nikitina S. V., Matveeva E. A., Tyapugin E. E. Breed composition in the breeding meat cattle breeding of Russia. *Dairy and meat cattle breeding*. 2021. № 1. Pp. 10-12.

11. Shichkin G. I., Lebedev S. V., Kostyuk R. V., Shichkin D. G. Beef production: condition and prospects. *Dairy and meat cattle breeding*. 2021. № 8. Pp. 2-5.

12. Sadykov M. M., Simonov G. A., Sadykov R. M. Hematological indicators of heifers of Kalmyk cattle in the foothills of Dagestan. *Izvestia Dagestan GAU*. 2023. № 2 (18). Pp. 120-126.

13. Fedotova A. S., Kozina E. A., Makarov A. V., Khanipova V. A., Kolomeitsev A. V. Network system for keeping cattle in the conditions of the Krasnoyarsk Territory. *Veterinary medicine and feeding*. 2023. № 5. Pp. 82-85.

14. Dunin I. M., Tyapugin S. E., Meshchero R. K., et al. The state of meat cattle breeding in the Russian Federation: realities and prospects. *Dairy and meat cattle breeding*. 2020. № 2. Pp. 2-7.

15. Makarov A. V., Khanipova V. A., Fedotova A. S., Kozina E. A., Kolomeitsev A. V. Comparative characteristics of systems for raising young cattle for fattening. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. № 9 (37).

16. Klobasa F., Butler J. E. Absolute and relative concentrations of immunoglobulins G, M, and A, and albumin in the lacteal secretion of sows of different lactation numbers. *Am. J. Vet. Res.* 1987. Vol. 48 (2). Pp. 176-182.

17. Manchini G., Carbonara A. O., Heremans I. P. Immunochemical quantitation of antigens by single radial immunodiffusion. *Immunochemistry*. 1965. Vol. 2 (3). Pp. 235-254.

18. Skelhorn E. P. G., Garcia-Ara A., Nova R. J., Kinston H., Wapenaar W. Public opinion and perception of rosé veal in the UK. *Meat Science*. 2020. Vol. 167. Article number: 108032.

Информация об авторах

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 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

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), профессор кафедры «Технология 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

Николаев Дмитрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru.

Суркова Светлана Анатольевна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0001-6581-2702, e-mail: sv.a.surkova@yandex.ru

Бадмаева Кермен Евгеньевна, соискатель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), кандидат биологических наук, доцент, проректор по науке и стратегическому развитию ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358015, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, д. 11), ORCID 0000-0002-4065-6720, e-mail: uni@kalmsu.ru

Убушиева Виктория Саналовна, соискатель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), преподаватель кафедры технологии производства и переработки с.-х. продукции ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микр., 3 корпус), ORCID 0000-0003-0320-7771, e-mail: vicki_93g@mail.ru

Мосолова Дарья Александровна, соискатель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0002-5579-6726, e-mail: daria.mosolova8@gmail.ru

Author's Information

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6), Head of the Department "Food Production Technology" FSBEI HE "Volgograd State Technical University" (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID. 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru.

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6), Professor of the Department of Food Production Technology, FSBEI HE Volgograd State Technical University "(Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID 0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Nikolaev Dmitry Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), ORCID 0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru

Surkova Svetlana Anatolyevna, senior researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St. 6), ORCID 0000-0001-6581-2702, e-mail: sv.a.surkova@yandex.ru

Badmaeva Kermen Evgenievna, applicant for the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Science and Strategic Development, FSBEI HE "Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov" (Russian Federation, 358015, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin St., 11), ORCID 0000-0002-4065-6720, e-mail: uni@kalmsu.ru

Ubushieva Victoria Sanalovna, applicant for the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6), lecturer at the Department of Production and Processing Technology of Agricultural Products of the Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Kalmyk State University named after B. B. Gorodok Ovikova" (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, district 5, 3). ORCID 0000-0003-0320-7771, e-mail: vicki_93g@mail.ru

Mosolova Daria Aleksandrovna, applicant for the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, 6 Rokossovsky St.), ORCID 0000-0002-5579-6726, e-mail: daria.mosolova8@gmail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-26

INFLUENCE OF ECOLOGICAL AND AGRARIAN FACTORS ON THE PRODUCTIVITY OF CAMELS

**I. F. Gorlov, D. V. Nikolaev, S. A. Surkova, N. I. Mosolova,
V. V. Ponomarev, E. S. Vorontsova**

*Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: esvoronts@mail.ru

Received 18.09.2023

Submitted 08.11.2023

Abstract

Introduction. Camel farming is a promising branch of livestock farming in Russia not only for the production of meat, but also milk, especially in regions with unstable climatic and agrarian conditions.

Object. Camels of the Kalmyk breed (Bactrian) at the age of 4 years. **Materials and methods.** The experiment was carried out in the conditions of two farms - in the camel breeding facility of the Kirovsky Farm in the Yashkul district of the Republic of Kalmykia (group I) and in the Zakharov private enterprise in the Nikolaevsky district of the Volgograd region (group II). To conduct research, 6 camels with a live weight of 550-600 kg were selected from each farm. The duration of the experiment was 18 months. **Results and conclusions.** The results of the analysis of the milk productivity of the experimental camel population indicate that animals raised in the Volgograd region (group II) were superior to their peers kept in the Republic of Kalmykia (group I) for each month of lactation. In general, during a full lactation, 1635 kg of milk was obtained from camels of group I raised in the Republic of Kalmykia, and 1968 kg from camels raised in the Volgograd region, which is 20.37% higher ($P \geq 0.99$). The fat content in the milk of camels of group II was higher in May by 0.65% ($P \geq 0.95$) compared to female camels of group I of the same age; SOMO – by 0.89%; protein – by 0.39%, respectively. At the same time, in November, higher levels of fat content were found in the milk of camels raised in the conditions of the Republic of Kalmykia (group I), by 0.48% ($P \geq 0.95$) compared with their peers from the territory of the Volgograd region (group II). However, in terms of the content of dry skimmed milk residue in milk, camels of group II exceeded their peers of group I by 0.12%; protein – by 0.28% ($P \geq 0.95$), respectively. Thus, it is advisable to raise camels of the Kalmyk breed (Bactrian) in the Volgograd region with more nutritious natural pastures to produce high-quality milk.

Key words: camels, Kalmyk bactrian, camel lactation, camel milk productivity, camel milk quality.

Citation. Gorlov I. F., Nikolaev D. V., Surkova S. A., Mosolova N. I., Ponomarev V. V., Vorontsova E. S. Influence of ecological and agrarian factors on the productivity of camels. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 253-261 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-26.

Author's contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.295

**ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГО-АГРАРНЫХ ФАКТОРОВ
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ВЕРБЛЮДИЦ****И. Ф. Горлов**, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**Д. В. Николаев**, доктор сельскохозяйственных наук**С. А. Суркова**, старший научный сотрудник**Н. И. Мосолова**, доктор биологических наук**В. В. Пономарев**, кандидат сельскохозяйственных наук**Е. С. Воронцова**, кандидат биологических наук*Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация***Работа выполнена в соответствии с гос. заданием ГНУ НИИММП**

Актуальность. Верблюдоводство является перспективной отраслью животноводства России не только для производства мяса, но и молока, особенно в регионах с нестабильными климатическими и аграрными условиями. **Объект.** Верблюдицы калмыцкой породы (бактриан) в возрасте 4 лет. **Материалы и методы.** Опыт проведен в условиях двух хозяйств – в племенном репродукторе по разведению верблюдов ПЗ «Кировский» Яшкульского района Республики Калмыкия (I группа) и ИП Захарова Николаевского района Волгоградской области (II группа). Для проведения исследований в каждом хозяйстве было отобрано по 6 верблюдиц живой массой 550-600 кг. Продолжительность опыта составила 18 месяцев. **Результаты и выводы.** Результаты анализа молочной продуктивности подопытного поголовья свидетельствуют, что животные, выращиваемые на территории Волгоградской области (II группа), превосходили сверстниц, которых содержали в Республике Калмыкия (I группа), по каждому месяцу лактации. В целом за полную лактацию от верблюдиц I группы, выращиваемых в Республике Калмыкия, получено 1635 кг молока, а от сверстниц, выращиваемых на территории Волгоградской области, – 1968 кг, что выше на 20,37% ($P \geq 0,99$). Содержание жира в молоке верблюдиц II группы, полученном в мае, было выше по сравнению со сверстницами I группы на 0,65% ($P \geq 0,95$); СОМО – на 0,89%; белка – на 0,39% соответственно. Вместе с тем в ноябре более высокие показатели содержания жира установлены в молоке верблюдиц, выращенных в условиях Республики Калмыкия (I группа), на 0,48% ($P \geq 0,95$) по сравнению со сверстницами с территории Волгоградской области (II группа). Однако по содержанию СОМО в молоке верблюдицы II группы превосходили сверстниц I группы на 0,12%; белка – на 0,28% ($P \geq 0,95$) соответственно. Таким образом, для получения молока высокого качества целесообразно выращивать верблюдиц калмыцкой породы (бактриан) на территории Волгоградской области с более питательными естественными пастбищами.

Ключевые слова: верблюды, калмыцкий бактриан, лактация верблюдиц, молочная продуктивность верблюдиц, качество молока верблюдиц.

Цитирование. Горлов И. Ф., Николаев Д. В., Суркова С. А., Мосолова Н. И., Пономарев В. В., Воронцова Е. С. Влияние эколого-аграрных факторов на продуктивность верблюдиц. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 253-261. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-26.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время в России остро стоит вопрос обеспечения продовольственной безопасности, которая должна опираться на прочный фундамент, состоящий из развитого сельскохозяйственного сектора, подразделяющегося на две ветви, одна из которых направлена на развитие растениеводческого комплекса, обеспечивающего население продуктами растительного происхождения, а другая – животноводче-

ского комплекса страны для получения продуктов животного происхождения, а именно мяса и молока. При этом перспективным ресурсом для увеличения производства молока является получение его от верблюдиц, особенно в регионах с засушливым или суровым климатом, к которым можно отнести Республику Калмыкия и Волгоградскую область, характеризующиеся неустойчивой погодой с ограниченным количеством осадков, где зима холодная, а лето жаркое.

На территории Яшкульского района Республики Калмыкия довольно скудная пастбищная растительность. Здесь преобладают следующие растения: злаковые травы (типчак, ковыль и мятлик), разнотравье (полынь белая, тонконог, прутняк, тысячелистник), кустарники и полукустарники (боярышник, крушина древовидная и кустарниковая ива).

Климатические особенности Николаевского района Волгоградской области во многом схожи с Республикой Калмыкия. Однако по видовому составу растительности есть различия: пажитник, кохия, марь белая, лядвенец рогатый, чина луговая, терескен, камфоросма и др.

Одним из самых значительных преимуществ верблюдов является их неприхотливость к условиям среды обитания. Они прекрасно себя чувствуют в очень жаркую погоду ($+40^{\circ}\text{C}$) и в мороз (-35°C). При выпасе на пастбище верблюды способны набирать до 1200 г среднесуточного прироста.

Ещё одним преимуществом верблюдов является то, что они способны потреблять растительность, которую не употребляют овцы и крупный рогатый скот, – верблюжью колючку (бобовый корм), а также относящиеся к группе солянковых и полынных растения, которые являются основным кормом этих животных, произрастают в основном в зоне пустынь и полупустынь [1, 9].

Верблюды калмыцкой породы относятся к бактрианам, то есть к двугорбым, продолжительность их рабочей жизни в среднем от 25 до 30 лет.

В настоящее время верблюды калмыцкой породы имеют следующие особенности экстерьера: это крупные животные, обладают легкой головой с заостренной мордой и широким лбом, шея хорошо обмуслена, средней длины, широкой и глубокой грудной клеткой, мощной обмускуленностью, тело бочкообразное, широкий немного свислый крестец, задний горб больше переднего, расстояние у основания горбов колеблется от 40 до 60 см. Ноги верблюдов сухие с прочными суставами и лапами среднего размера [5, 6].

От верблюдиц бактрианов калмыцкой породы за весь лактационный период длительностью до 18 месяцев, по литературным данным, возможно получать от 2000 до 2500 кг молока [2, 3, 7, 10].

Общеизвестно, что добиться увеличения молочной продуктивности верблюдиц возможно не только путем совершенствования технологии выращивания, но и за счет применения современных иммуногенетических методов [8, 11, 14, 15].

Исследователями установлено, что верблюжье молоко содержит большое количество жира, белка и витаминов, оно способно оказывать общеукрепляющее воздействие на организм человека и в целом стимулировать работу иммунной системы и снижать уровень воспалительных процессов [4, 12, 13].

Изучение влияния разных зон выращивания на продуктивные особенности верблюдов бактрианов калмыцкой породы является одним из приоритетных направлений исследований в свете поиска путей увеличения производства молока.

Целью наших исследований явилось изучение молочной продуктивности верблюдов (бактрианов) калмыцкой породы в разных эколого-аграрных зонах.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились в племенном репродукторе по разведению верблюдов НАО ПЗ «Кировский» Яшкульского района Республики Калмыкия (I группа) и ИП Захарова Николаевского района Волгоградской области (II группа) с 2021 по 2023 гг.

Для проведения исследований в представленных хозяйствах было отобрано по 6 жеребых верблюдиц калмыцкой породы одного возраста (4 года) живой массой 550-600 кг. Для проведения эксперимента в обоих хозяйствах были оборудованы специальные базы для содержания верблюдиц с верблюжатами. Рационы кормления лактирующих верблюдиц калмыцкой породы (бактриан) варьировались в зависимости от живой массы и периода лактации и содержали не менее 97,0 МДж обменной энергии в расчете на одну голову. Продолжительность опыта составила 18 месяцев.

Продуктивность верблюдиц устанавливали за полную лактацию. Для более полного учета молочной продуктивности мы учитывали разность между живой массой новорожденного верблюжонка и его массой за месяц. Затем полученное число умножали на 10. Содержание жира, белка и СОМО в молоке определяли на приборе «Лактан 1-4М», аминокислот – при помощи системы «Капель-105М» методом электрофореза.

Результаты и обсуждение. Верблюдица начинает процесс молокоотдачи только после стимуляции вымени верблюжонком. Поэтому, прежде чем приступить к дойке, сначала подпускали верблюжонка. Это не только затрудняет процесс доения, но и снижает возможность определения истинной молочной продуктивности верблюдиц. Все это в целом вызывает необходимость вести учет молочного удоя, полученного в результате дойки, и добавлять количество молока, которое пошло на рост теленка, так как большая его часть уходит именно на это.

Одним из преимуществ лактирующих верблюдиц по сравнению с другими видами млекопитающих животных считается длительная лактация и продолжительное хозяйственное использование (рисунок 1).

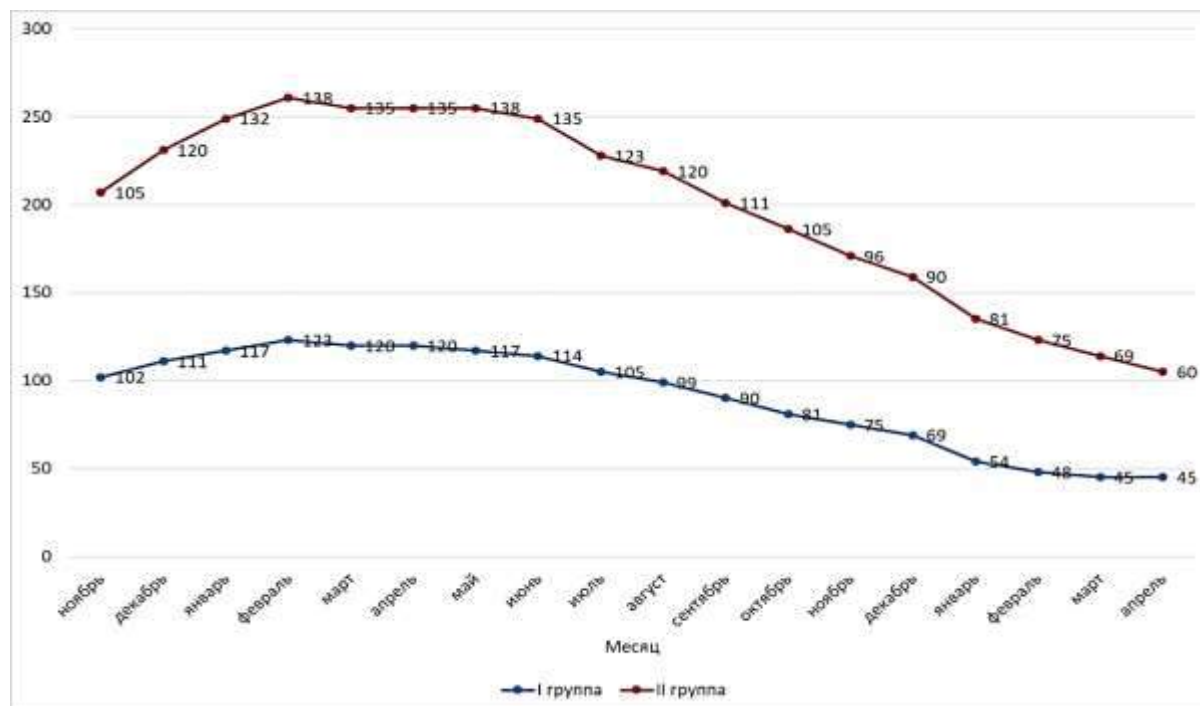


Рисунок 1 – Месячный удой верблюдиц за полную лактацию, кг (n=6)

Figure 1 – Monthly milk yield of camels for full lactation, kg (n=6)

Оценивая результаты молочной продуктивности подопытного поголовья из рисунка 1, видно, что животные, выращиваемые на территории Волгоградской области (II группа), превосходили сверстниц, которых содержали в Республике Калмыкия (I группа), по каждому месяцу лактации: ноябрь 2021 г. – на 2,94%; декабрь 2021 г. – на 8,11% ($P \geq 0,95$); январь 2022 г. – на 12,82% ($P \geq 0,95$); февраль 2022 г. – на 12,19% ($P \geq 0,95$); март 2022 г. – на 12,5% ($P \geq 0,95$); апрель 2022 г. – на 12,5% ($P \geq 0,95$); май 2022 г. – на 17,95% ($P \geq 0,95$); июнь 2022 г. – на 18,42% ($P \geq 0,95$); июль 2022 г. – на 17,14% ($P \geq 0,95$); август 2022 г. – на 21,21% ($P \geq 0,95$); сентябрь 2022 г. – на 23,33% ($P \geq 0,99$); октябрь 2022 г. – на 29,63% ($P \geq 0,99$); ноябрь 2022 г. – на 28,0% ($P \geq 0,99$); декабрь 2022 г. – на 30,43% ($P \geq 0,99$); январь 2023 г. – на 50,0% ($P \geq 0,99$); февраль 2023 г. – на 56,25% ($P \geq 0,95$); март 2023 г. – на 53,33% ($P \geq 0,99$) и апрель 2023 г. – на 33,33% ($P \geq 0,99$) соответственно.

В целом за всю полную лактацию от верблюдиц I группы, выращиваемых в Республике Калмыкия, получено 1635 кг молока, а от сверстниц, выращиваемых на территории Волгоградской области, – 1968 кг, что выше на 20,37% ($P \geq 0,99$).

По нашему мнению, такая существенная разница в продуктивности верблюдиц стала следствием разного уровня продуктивности пастбищ. В Волгоградской области на территории Николаевского района естественные пастбища более богаты растительностью, чем в Республике Калмыкия.

Мы изучили качественные показатели молока, получаемого от подопытного поголовья (рисунок 2).

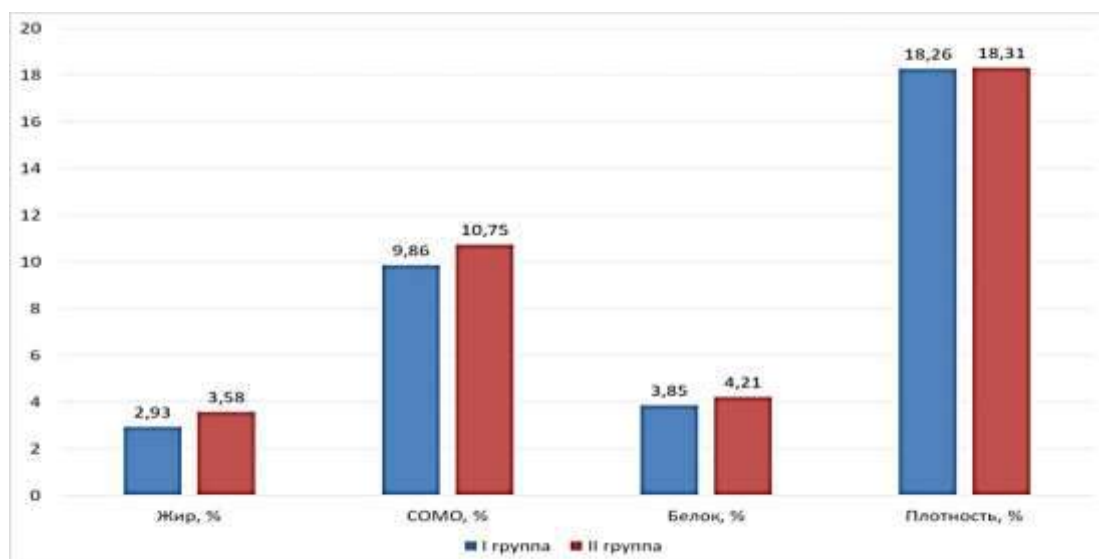


Рисунок 2 – Качественные показатели молока верблюдов калмыцкой породы, май 2022 г. (n=6)
Figure 2 – Qualitative indicators of milk from Kalmyk breed camels, May 2022 (n=6)

Из данных качества молока, полученного от маток бактрианов за месяц май 2022 года, представленных на рисунке 2, видно, что по содержанию жира верблюдицы, выращиваемые на территории Волгоградской области (II группа), превосходили своих сверстниц из Республики Калмыкия (I группа) на 0,65% ($P \geq 0,95$); СОМО – на 0,89%; белка – на 0,39% соответственно. Плотность молока находилась практически на одном уровне.

За месяц ноябрь 2022 г. более высокие показатели содержания жира установлены в молоке верблюдиц, выращенных в условиях Республики Калмыкия (I группа), на 0,48% ($P \geq 0,95$) по сравнению со сверстницами с территории Волгоградской области (II группа). Однако по содержанию СОМО в молоке верблюдицы II группы превосходили сверстниц I группы на 0,12%; белка – на 0,28% ($P \geq 0,95$) соответственно (рисунок 3).

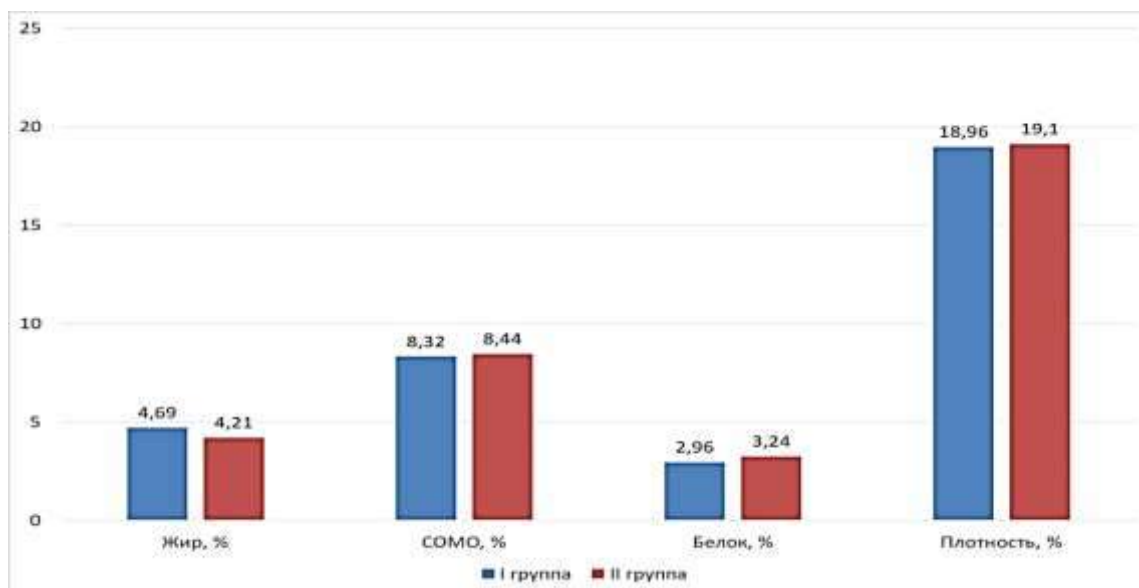


Рисунок 3 – Качественные показатели молока верблюдиц калмыцкой породы, ноябрь 2022 г. (n=6)
Figure 3 – Qualitative indicators of milk from Kalmyk breed camels, November 2022 (n=6)

Относительно высокое содержание жира и белка в полученном молоке за май и ноябрь 2022 года может служить убедительным доказательством хорошей энергетической составляющей рационов питания верблюдиц за время лактации.

Лабораторные исследования аминокислотного состава полученного молока показали, что по содержанию аминокислот: аргинина, лизина, тирозина, фенилаланина, гистидина, лецина + изолейцина, метионина, валина, пролина, треонина, серина, аланина, глицина, молоко верблюдиц, выращенных в условиях Волгоградской области, превосходит сверстниц из Республики Калмыкия на 0,08; 0,11; 0,09; 0,21; 0,26; 0,27; 0,18; 0,15; 0,22; 0,26; 0,19; 0,21; 0,25; 0,19% соответственно.

Такие результаты свидетельствуют о более высоком качестве кормов, поступающих в организм верблюдиц, выращиваемых на территории Волгоградской области.

Выводы. Кормовые условия, в которых проходило выращивание верблюдиц калмыцкой породы в Волгоградской области, положительно повлияло на увеличение их молочной продуктивности. Состав естественных кормовых угодий Волгоградской области с более интенсивным ростом в сравнении с возможностями пастбищ Республики Калмыкии способствовал улучшению аминокислотного состава молока. Вместе с тем наши экспериментальные результаты показали, что в мае месяце верблюдицы продуцируют молоко лучшего качества на территории Волгоградской области. Осенью (в ноябре) эта тенденция не меняется и более высокое по качеству молоко дают животные II группы.

Наиболее целесообразно для получения молока высокого качества выращивать верблюдиц калмыцкой породы на более питательных естественных пастбищах, расположенных на территории Волгоградской области.

Conclusions. The feeding conditions in which the Kalmyk camels were grown in the Volgograd region had a positive effect on the increase in their dairy productivity. The composition of natural forage lands of the Volgograd region with more intensive growth in comparison with the possibilities of pastures of the Republic of Kalmykia contributed to an improvement in the amino acid composition of milk. At the same time, our experimental results showed that in May camels produce better quality milk in the Volgograd region. In autumn (in November), this trend does not change and animals of group II give higher quality milk.

It is most advisable to produce high-quality milk to grow Kalmyk camels in more nutritious natural pastures located in the Volgograd region.

Библиографический список

1. Баймуканов Д. А. Селекционно-генетические параметры продуктивности верблюдо-маток казахского дромедара. Аграрная наука. 2017. № 11 (12). С. 47-49.
2. Баймуканов Д. А. Критерии оценки и отбора верблюдов казахского бактриана по продуктивности. Аграрная наука. 2020. № 3 (3). С. 39-43.
3. Баймуканов Д. А., Дошанов Д. А. Продуктивно-технологические особенности верблюдов казахского бактриана. Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. № 22. С. 264-267.
4. Джайнакбаев Н. Т., Сейдалин А. О., Кашикова Х. Ш. Применение сублимированного верблюжьего молока «Шубат» пациентами с сахарным диабетом 2-го типа, оценка его эффективности по клинико-лабораторным показателям. Актуальные проблемы теоретической и клинической медицины. 2022. Т. 36. № 2. С. 47-52.
5. Дошанов Д. А., Юлдашбаев Ю. А., Баймуканов А. Технология содержания верблюдов породы калмыцкий бактриан. Доклады ТСХА. 2016. Вып. 288. Ч. 1. С. 224-228.
6. Зулаев М. С., Надбитов Н. К., Манджиева Д. В. Калмыцкий верблюд бактриан и его совершенствование. Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2018. Т. 36. № 1. С. 17-20.
7. Баймуканов Д. А., Юлдашбаев Ю. А., Исхан К. Ж., Демин В. А. Концепция развития продуктивного и племенного верблюдоводства Республики Казахстан на 2021-2030 годы. Аграрная наука. 2020. № 7. С. 52-60.
8. Убушиева А. В., Моисейкина Л. Г., Убушиева В. С., Ходжинов Б. С. Определение генотипа калмыцких бактрианов с применением ISSR анализа. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2018. Т. 38. № 5. С. 38-41.
9. Натиров А. К., Дюсегалиев М. Ж., Мороз Н. Н., Болаев Б. К. Породные и продуктивные качества верблюдов Калмыцкий бактриан в Непубличном акционерном обществе Племенной завод «Кировский» Яшкульского района Республики Калмыкия. Аграрно-пищевые инновации. 2021. Т. 14. № 2. С. 43-51.
10. Каргаева М. Т., Бекенов Д. М., Юлдашбаев Ю. А., Баймуканов А. Д. Потенциал молочной продуктивности казахских бактрианов в Прибалхашской зоне. Главный зоотехник. 2022. № 10 (231). С. 47-57.
11. Burger P. A. The history of Old World camelids in the light of molecular genetics. Trop Anim Health Prod. 2016. Vol. 48. Pp. 905-913.
12. Brezovečki A., Čagalj M., Dermić Z. F., Mikulec N., Ljolić D. B., Neven A. Camel milk and milk products. Mljekarstvo. 2015. Vol. 65 (2). Pp. 81-90.
13. Gader A. G. M. A., Abdulqader A. A. The unique medicinal properties of camel products: A review of the scientific evidence. Journal of Taibah University Medical Sciences. 2016. Vol. 11 (2). Pp. 98-103.
14. Khalkhali-Evrigh R., Hafezian S. H., Hedayat-Evrigh N., Farhadi A., Bakhtiarizadeh M. R. Genetic variants analysis of three dromedary camels using whole genome sequencing data. PloS ONE. 2018. Vol. 13. Iss. 9.
15. Liang Ming, Liyun Yuan, et al. Whole-genome sequencing of 128 camels across Asia reveals origin and migration of domestic Bactrian camels. Communications Biology. 2020. Vol. 3. Article number: 1.

References

1. Baimukanov D. A. Selection and genetic parameters of the productivity of camels of the Kazakh dromedar. Agrarian science. 2017. № 11 (12). Pp. 47-49.
2. Baimukanov D. A. Criteria for evaluation and selection of Kazakh Bactrian camels by productivity. Agrarian science. 2020. № 3 (3). Pp. 39-43.
3. Baimukanov D. A., Doshanov D. A. Productive and technological features of camels of the Kazakh Bactrian. Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. 2020. № 22. Pp. 264-267.
4. Dzhanakbaev N. T., Seydalin A. O., Kashikova H. Sh. Use of freeze-dried camel milk "Shubat" in patients with type 2 diabetes mellitus, assessment of its effectiveness according to clinical and laboratory indications. Current problems of theoretical and clinical medicine. 2022. V. 36. № 2. Pp. 47-52.

5. Doshanov D. A., Yuldashbaev Yu. A., Baimukanov A. Technology of keeping camels of the Kalmyk Bactrian breed. TSHA reports. 2016. No 288. V. 1. Pp. 224-228.
6. Zulaev M. S., Nadbitov N.K., Mandzhieva D. V. Kalmyk camel Bactrian and its improvement. Bulletin of the Institute for Integrated Research of Arid Territories. 2018. V. 36. № 1. Pp. 17-20.
7. Baimukanov D. A., Yuldashbaev Yu. A., Iskhan K. Zh., Demin V. A. The concept of the development of productive and tribal camel farming of the Republic of Kazakhstan for 2021-2030. Agrarian science. 2020. № 7. Pp. 52-60.
8. Ubushieva A. V., Moiseikina L. G., Ubushieva V. S., Khojinov B. S. Determination of the gene pool of Kalmyk bactrians using ISSR analysis. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2018. V. 38. № 5. Pp. 38-41.
9. Natyrov A. K., Dyusegaliev M. J., Moroz N. N., Bolaev B. K. Breed and productive qualities of camels Kamysky Bactrian in the Non-Public Joint Stock Company Kirov Breeding Plant of the Yashkul District of the Republic of Kalmykia. Agricultural and food innovations. 2021. V. 14. № 2. Pp. 43-51.
10. Kargaeva M. T., Bekenov D. M., Yuldashbaev Yu. A., Baimukanov A. D. Potential of dairy productivity of Kazakh Bactrians in the Pribalkhash zone. Chief livestock specialist. 2022. № 10 (231). Pp. 47-57.
11. Burger P. A. The history of Old World camelids in the light of molecular genetics. Trop Anim Health Prod. 2016. Vol. 48. Pp. 905-913.
12. Brezovečki A., Čagalj M., Dermić Z. F., Mikulec N., Ljolić D. B., Neven A. Camel milk and milk products. Mljekarstvo. 2015. Vol. 65 (2). Pp. 81-90.
13. Gader A. G. M. A., Abdulqader A. A. The unique medicinal properties of camel products: A review of the scientific evidence. Journal of Taibah University Medical Sciences. 2016. Vol. 11 (2). Pp. 98-103.
14. Khalkhali-Evrigh R., Hafezian S. H., Hedayat-Evrigh N., Farhadi A., Bakhtiarizadeh M. R. Genetic variants analysis of three dromedary camels using whole genome sequencing data. PLoS ONE. 2018. Vol. 13. Iss. 9.
15. Liang Ming, Liyun Yuan, et al. Whole-genome sequencing of 128 camels across Asia reveals origin and migration of domestic Bactrian camels. Communications Biology. 2020. Vol. 3. Article number: 1.

Информация об авторах

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Николаев Дмитрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru.

Суркова Светлана Анатольевна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0001-6581-2702, e-mail: sv.a.surkova@yandex.ru

Мосолова Наталья Ивановна, 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), ORCID 0000-0001-6559-6595, e-mail: natali.niimmp@yandex.ru.

Пономарев Виктор Владимирович, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0001-8980-2429, 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.

Author's Information

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), ORCID 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Nikolaev Dmitry Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), ORCID 0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru

Surkova Svetlana Anatolyevna, senior researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), ORCID 0000-0001-6581-2702, e-mail: sv.a.surkova@yandex.ru

Mosolova Natalia Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), ORCID 0000-0001-6559-6595, e-mail: natali.niimmp@yandex.ru

Ponomarev Viktor Vladimirovich, senior researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), ORCID 0000-0001-8980-2429, e-mail: niimmp@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky St., 6), e-mail: esvoronts@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-27

INFLUENCE OF THE NEW ADDITIVE "KD-BISH" ON FURTHER DAIRY PRODUCTIVITY OF COWS AND MILK QUALITY

**M. I. Slozhenkina^{1,2}, I. F. Gorlov^{1,2}, D. V. Nikolaev¹, S. A. Surkova¹,
E. S. Vorontsova¹, A. K. Natyrov³, V. A. Puzankova^{1,3}**

¹*Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products
Volgograd, Russian Federation*

²*Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation*

³*Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 12.09.2023

Submitted 20.11.2023

The work was carried out within the framework of the grant of RGNF 22-16-00041, GNU NIIMMP

Abstract

Introduction. In dairy farming technology, the most significant stages are the dry period and the milking period. The importance of these stages can hardly be overestimated for unlocking the genetic potential of dairy cows, since at the first stage we get healthy offspring from highly productive animals, and at the second the foundations are laid for the economic efficiency of milk and dairy products production. It is known that unlocking the genetic potential of dairy productivity of animals implies providing them with high-quality complete feed, including various biologically active and feed additives, and corrective substances.

Object. Holstein cows aged three years. **Materials and methods.** The experiment was carried out on two groups of cows (control and experimental), each of which consisted of 30 heads. The control group of animals received a standard diet; the cows of the experimental group received the feed additive "KD-Bish" (380 g per head per day) in addition to the standard diet. The duration of the experiment was 194 days. **Results and conclusions.** The use of a new feed additive in the technology of growing Holstein cows during the dry period during 21 days before calving contributed to increase milk yield, improve milk quality indicators and increase the production of dairy products.

Key words: lactating cows, Holstein breed of cows, feed additives, productivity of cows, quality of milk of cows, dairy products.

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Nikolaev D. V., Surkova S. A., Vorontsova E. S., Natyrov A. K., Puzankova V. A. Influence of the new additive "KD-Bish" on further dairy productivity of cows and milk quality. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 261-269 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-27.

Author's contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.2.034/084

ВЛИЯНИЕ НОВОЙ ДОБАВКИ «КД-БИШ» НА ДАЛЬШЕЙШУЮ МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ И КАЧЕСТВО МОЛОКА

М. И. Сложенкина^{1,2}, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор

И. Ф. Горлов^{1,2}, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Д. В. Николаев¹, доктор сельскохозяйственных наук

С. А. Суркова¹, старший научный сотрудник

Е. С. Воронцова¹, кандидат биологических наук

А. К. Натыров³, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А. А. Пузанкова^{1,3}, соискатель

¹Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции

²ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет
г. Волгоград, Российская Федерация

³Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова
г. Элиста, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 22-16-00041, ГНУ НИИММП

Актуальность. В технологии молочного скотоводства наиболее значимыми этапами являются сухостойный период и период раздоя. Важность этих этапов трудно переоценить для раскрытия генетического потенциала молочных коров в связи с тем, что на первом этапе получаем здоровое потомство от высокопродуктивных животных, а на втором закладываются основы экономической эффективности производства молока и молочных продуктов. Известно, что раскрытие генетического потенциала молочной продуктивности животных подразумевает обеспечение их высококачественными полноценными кормами, включающими в том числе и различные биологически активные и кормовые добавки, корректирующие средства. **Объект.** Коровы голштинской породы в возрасте трех лет. **Материалы и методы.** Опыт проведен на двух группах коров (контрольная и опытная), каждая из которых состояла из 30 голов. Контрольная группа животных получала стандартный рацион, коровы опытной группы – в дополнение к стандартному рациону кормовую добавку «КД-Биш» (380 г на голову в сутки). Продолжительность опыта составила 194 дня. **Результаты и выводы.** Применение в технологии выращивания коров голштинской породы в сухостойный период в течение 21 дня перед отелом новой кормовой добавки способствовало повышению удоев, улучшению показателей качества молока и увеличению выработки молочных продуктов.

Ключевые слова: лактирующие коровы, голштинская порода коров, кормовые добавки, продуктивность коров, качество молока коров, молочные продукты.

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Николаев Д. В., Суркова С. А., Воронцова Е. С., Натыров А. К., Пузанкова В. А. Влияние новой добавки «КД-БИШ» на дальнейшую молочную продуктивность коров и качество молока. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 261-269. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-27.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На пути интенсификации молочного скотоводства России имеется ряд нерешенных первостепенных задач, а именно: увеличение производства молока и улучшение качества получаемой молочной продукции, решение которых затрудняется в связи с высоким уровнем отхода высокопродуктивных животных из-за усиленного использования и недостаточного обеспечения кормами [1, 3, 5].

Масштабная селекционная работа, проводимая с крупным рогатым скотом голштинской породы, наряду с неоспоримым преимуществом – выдающимися показателями молочной продуктивности, способствовала ее изнеживанию, то есть привела к повышенной требовательности к качеству кормов, условиям содержания, ветеринарным обработкам и высокой вирулентности к различным заболеваниям [2, 6, 7].

При выращивании крупного рогатого скота на крупных комплексах для кормления животных применяют комплексные комбикорма, которые корректируются в зависимости от сезона года, продуктивных особенностей, живой массы, возраста, а также физиологического состояния животных [8, 9]. В связи с этим животные в процессе жизнедеятельности при смене рационов подвержены заболеваниям желудочно-кишечного тракта – дисбактериозам [10, 12, 15].

Одним из таких тревожных периодов у крупного рогатого скота считается сухостойный период. В это время животные получают усиленное высокоэнергетическое питание, которое обеспечивает питательными веществами не только корову, а также и теленка. В этот период особенно важно снизить риски заболевания дисбактериозом, что способно обеспечить введение в практику кормления кормовых добавок, препаратов, биологически активных веществ, обеспечивающих поддержание нормального уровня микробиоценоза кишечника [4, 11, 13, 16].

Одним из таких средств, способных участвовать в наращивании уровня молочнокислых бактерий в желудочно-кишечном тракте крупного рогатого скота, является кормовая добавка «КД-Биш», состоящая из комплекса минеральных веществ и дисахаридов в соотношении 21:79 соответственно.

Проведение исследований, направленных на установление эффективности кормовой добавки, имеющей комплекс компонентов, включающих бишофит и дисахарид, в сухостойный период на увеличение уровня молочной продуктивности является актуальным.

Целью представленных исследований являлось изучение взаимосвязи компонентов, входящих в состав кормовой добавки «КД-Биш» (ТУ 10.91.10-271-10514645-2022), молочной продуктивности и качества молочной продукции при использовании ее в кормлении коров в сухостойный период. Эта работа является продолжением научных исследований, опубликованных ранее [14].

Материалы и методы. Для проведения эксперимента был выбран крупнейший молочный комплекс, расположенный в Калачевском районе Волгоградской области, – ООО СП «Донское», который занимается выращиванием скота голштинской породы.

Для этого отобрали 60 голов коров в возрасте трех лет, которых распределили в две группы по 30 голов. Животные, вошедшие в первую группу (контрольная группа), получали стандартный рацион (СР), принятый в хозяйстве, коровы второй группы (опытная группа) – СР + 380 г на голову в сутки кормовой добавки «КД-Биш», которую давали в сухостойный период в течение 21 дня перед отелом.

Условия содержания животных были одинаковыми для обеих испытываемых групп. Для проведения экспериментальной работы рассчитали рационы кормления животных при учете детализированных рекомендуемых норм кормления (А. П. Калашников и др., 2003) с помощью программы «КормОптимЭксперт».

Продолжительность всего эксперимента составила 194 дня: при этом предварительный период продолжался 15 дней; переходный – 7 дней; главный период – 152 дня; заключительный – 20 дней.

Животных в группы отбирали с учетом породности, живой массы, молочной продуктивности.

Для установления влияния предлагаемой кормовой добавки «КД-Биш», применяемой в технологии кормления коров голштинской породы, на их молочную продуктивность проводили ежедекадную индивидуальную контрольную дойку. Результаты молочной продуктивности подопытных животных представлены в виде лактационных кривых. Изучение жира, белка, СОМО в молоке проводили известными общепринятыми методами ежемесячно.

Изучение физико-химических параметров молока, получаемого от подопытных животных, проводили по окончании эксперимента известными методами: титриметрическим определяли титруемую кислотность, ареометрическим – плотность, кислотным – содержание жира, арбитражным – сухого вещества, формольным титрованием – казеина, озолением – минеральных веществ, Лоренса – лактозы, комплексонометрическим по А. Я. Дуденкову – кальция, спектрофотометрическим – фосфора.

Результаты исследований, полученные в ходе данного эксперимента, обрабатывали при помощи ПК методами вариационной статистики (Н. А. Плехинский, 1970) с установлением параметров достоверности разности со статистическими порогами: $P \geq 0,95$; $P \geq 0,99$; $P \geq 0,999$.

Результаты и обсуждение. При постановке опыта мы провели изучение физиологического состояния подопытных животных. Анализ гематологических показателей показал, что все коровы по содержанию в крови эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина имели незначительные различия и находились в пределах нормы. Анализ количества рефлекторных дыхательных движений, частоты сердечных ударов и температуры тела показал, что эти параметры не превышали нормированных показателей для данной возрастной группы животных.

Проведенными после отела исследованиями установлено, что животные подопытных групп имели признаки наличия ряда заболеваний (таблица 1).

Таблица 1 – Количество случаев заболеваний после отела подопытных коров, % (n=30)

Table 1 – Number of diseases cases after calving of experimental cows, % (n=30)

Группа	Гипокальциемия	Эндометриты	Маститы	Заболевания копытного рога
Контрольная	15,1±0,17	16,4±0,22	18,4±0,18	12,9±0,19
Опытная	2,2±0,21***	3,4±0,23***	3,2±0,16***	5,2±0,23***

По результатам, представленным в таблице 1, видно, что в опытной группе коров, получавших в сухостойный период кормовую добавку «КД-Биш», установлено меньшее количество случаев заражения гипокальциемией по сравнению с контрольной группой на 12,9% ($P \geq 0,999$); эндометритами – на 13,0% ($P \geq 0,999$); маститами – на 15,2% ($P \geq 0,999$); заболеваний копытного рога – на 7,7% ($P \geq 0,999$) соответственно.

По нашему мнению, применяемая кормовая добавка оказала влияние на активацию иммунных процессов, протекающих в организме коров в исследуемые периоды. Наличие в кормовой добавке биоактивных фракций ионов К, Mg, Са и Na оказало влияние на усиление проникающей способности мембраны клеток, за счет усиления регуляции активности ферментов, белков они способны повышать не просто активность процессов внутри клеток, но и между ними. Все это положительно повлияло на усиление регуляции естественного иммунитета животных.

Введение в технологию кормления молочных коров испытуемой кормовой добавки способствовало повышению удоев молока за главный период опыта (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1, животные опытной группы, получавшие в своем рационе кормовую добавку «КД-Биш», превосходили коров контрольной группы за первые 30 дней опыта на 120,0 кг, или 17,39%, 60 дней – на 126,0 кг, или 15,67, 90 дней – на 135,0 кг, или 13,01% ($P \geq 0,95$), 120 дней – на 156,0 кг, или 15,57% ($P \geq 0,99$), 150 дней –

на 111,0 кг, или 11,49% ($P \geq 0,95$) соответственно. Расчет молочной продуктивности за 305 дней лактации показал, что от животных опытной группы было надоеено 11412 кг молока, что больше в сравнении с контрольной группой на 808 кг, или 7,08% ($P \geq 0,95$).

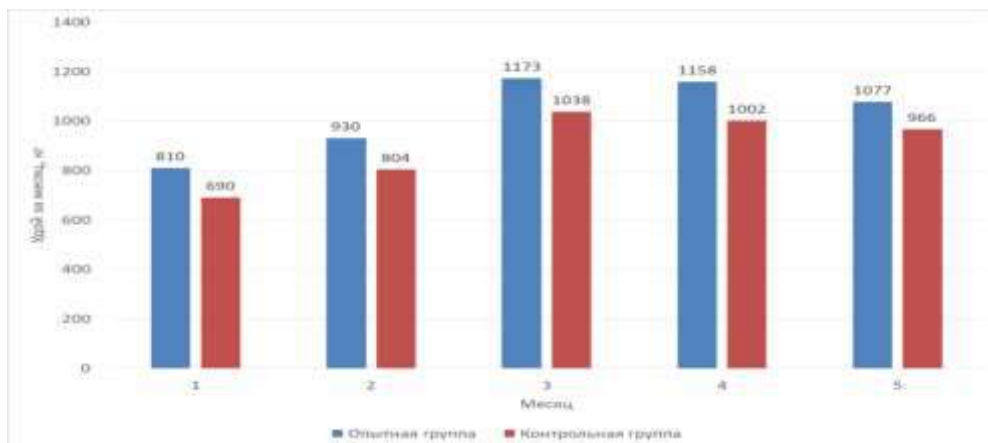


Рисунок 1 – Уровень удоев коров подопытных групп за главный период опыта, кг
Figure 1 – Milk yield level of cows in experimental groups for the main period of experiment, kg

Таким образом, животные опытной группы, получавшие изучаемую кормовую добавку, значительно превышали показатели контрольной группы по величине месячных удоев молока и за весь учетный период. Мы считаем, что существенную роль в этом сыграли дисахариды, которые являются одним из основных действующих веществ добавки. Механизм их влияния представляется следующим: в преджелудке (рубце) происходит выработка специального фермента, который участвует в преобразовании из углеводов уксусной кислоты, которая необходима для выработки молочного жира.

Увеличение молочного жира в молоке животных опытной группы, получавших испытуемую кормовую добавку, по сравнению с коровами контрольной группы, могло повлиять на качество получаемого молока (таблица 2).

Таблица 2 – Качественные показатели молока, получаемого от подопытного поголовья (n=10)
Table 2 – Qualitative indicators of milk obtained from experimental livestock (n=10)

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Удой за сутки, кг	33,8±0,18	37,6±0,21***
Содержание сухого вещества, %	12,62±0,04	12,66±0,06
СОМО, %	8,67±0,02	8,74±0,01**
жира, %	3,95±0,03	3,92±0,02
общего белка, %	3,37±0,01	3,40±0,03
казеина, %	2,34±0,02	2,41±0,01**
в том числе: α, %	23,26±0,18	24,32±0,21**
β, %	49,62±0,14	50,24±0,17*
γ, %	27,12±0,25	25,44±0,28**
Лактоза, %	4,56±0,12	5,32±0,13***
Плотность, кг/м ³	1028±0,01	1028±0,02

В результате контрольного доения было установлено, что суточный удой на 56-день раздоя выше у коров, получавших в рационе кормления «КД-Биш», в сравнении с контрольной группой на 3,8 кг, или 11,24% ($P \geq 0,999$). Изучение химического состава молока показало, что сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) содержится также больше в их молоке по сравнению с контрольной группой животных на 0,07% ($P \geq 0,99$), казеина – на 0,07% ($P \geq 0,99$), лактозы – на 0,76% ($P \geq 0,999$) соответственно.

Разделением молочного казеина по фракционному составу при помощи электрофореза определено, что в молоке коров, получавших «КД-Биш», лактоальбуминов α - и β -типов содержится больше по сравнению с животными контрольной группы по первому типу на 1,06% ($P \geq 0,99$), а по второму – на 0,62% ($P \geq 0,95$) соответственно. По содержанию в молоке γ -иммуноглобулина они также превосходят коров контрольной группы на 1,68% ($P \geq 0,999$).

Остальные изучаемые показатели отличались незначительно, хотя и имели положительную тенденцию в сторону молока коров, получавших кормовую добавку «КД-Биш».

Следовательно, компоненты кормовой добавки «КД-Биш» оказали положительное влияние на формирование качественных показателей молока, произошло значительное увеличение содержания сывороточных белков α - и β -глобулинов.

Увеличение содержания в молоке сывороточных белков α - и β -глобулинов напрямую влияет на повышение выработки молочных продуктов, в частности сливок, сметаны и творога.

Для проведения лабораторных исследований по изучению сывороточных свойств полученного молока от каждой подопытной группы было отобрано по 15 кг обезжиренного молока. Молоко, полученное от коров разных групп, сквашивалось неравномерно: контрольной группы – 8,04 ч, опытной группы – 7,05 ч. При этом творога, выработанного из молока коров опытной группы, получено больше на 2,35% ($P \geq 0,95$) по сравнению с контрольной группой. Проведенная дегустационная оценка готового творога показала, что творог, полученный от коров, потреблявших кормовую добавку «КД-Биш», имел рассыпчатую структуру с вкраплением небольших сгустков молочного белка, цвет колебался от нежно-белого до с легка кремовым оттенком, распределенный по всему образцу.

В результате сепарирования 15 кг молока получено сливок больше из молока коров, получавших «КД-Биш», по сравнению с контрольной группой на 4,42%. В дальнейшем сливки интенсивно сбивали. При этом процесс сбивания сливок, полученных от коров, потреблявших «КД-Биш», продолжался в течение 23 минут, что меньше по сравнению с контрольной группой на 8 минут, или 34,78%. Полученный продукт имел зернистую плотную структуру, цветовая гамма изменялась от белого к светло желтому, глубина слоя составляла от 6,5 до 8 мм.

Оценка органолептических показателей масла экспертами показала, что представленные образцы готового продукта по цвету, запаху, вкусу, внешнему виду отличались. Более высокие оценки получили образцы масла, полученные из сливок животных опытной группы. По pH, йодному и перекисному числу также установлено незначительное превосходство опытных образцов масла над контрольными. Как показали исследования, из 20 кг молока, полученных от коров, получавших «КД-Биш», выработан 1 кг натурального масла жирностью 80%, что больше, чем выработано масла из молока контрольной группы, на 3,42%.

В результате лабораторного эксперимента установлено, что при выработке молочных продуктов из молока подопытных коров больше было получено творога, сливок и масла из молока коров опытной группы, чем от животных контрольной.

Выводы. Введение в технологию выращивания коров голштинской породы новой кормовой добавки в сухостойный период в течение 21 дня перед отелом повлияло на усиление активности естественного иммунитета и снижение заболеваемости животных после отела, способствовало повышению удоев, улучшению показателей качества молока и увеличению выработки молочных продуктов. Для увеличения производства молока и молочных продуктов рекомендуем применять кормовую добавку «КД-Биш» для кормления молочных коров в дозировке 380 г на голову в сутки в рекомендуемые сроки.

Conclusions. The introduction of a new feed additive into the technology of growing Holstein cows during the dry period for 21 days before calving influenced the increase in the activity of natural immunity and a decrease in the incidence of animals after calving, contributed to an increase in milk

yield, an improvement in milk quality indicators and an increase in the production of dairy products. To increase the production of milk and dairy products, we recommend using the KD-Bish feed additive for feeding dairy cows in a dosage of 380 g per head per day within the recommended time frame.

Библиографический список

1. Анисимова Е. И., Сычева О. В. Сравнительный анализ признаков молочной продуктивности симментальского скота различной линейной принадлежности. Аграрная Россия. 2019. № 6. С. 34-37.
2. Васильева О. К. Взаимосвязь упитанности, молочной продуктивности и воспроизводительных качеств коров-первотелок. Генетика и разведение животных. 2019. № 2. С. 71-76.
3. Воронова И. В., Игнатьева Н. Л., Немцева Е. Ю. Современные аспекты кормления молочных коров. Вестник Ульяновской ГСХА. 2021. № 1. С. 164-169.
4. Гуцуляк С. А., Оздемиров А. А., Рамазанова Д. М. Основные факторы, влияющие на состояние естественной резистентности новорожденных телят. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 4. С. 129-133.
5. Иванова И. П. Анализ воспроизводства коров в молочных комплексах Омской области. Известия ОГАУ. 2020. № 6. С. 256-260.
6. Комлацкий В. И., Еременко О. Н. Особенности улучшения воспроизводства стада коров. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 167. С. 75-83.
7. Гусаров И. В., Корнилова О. А., Боголюбова Н. В., Фоменко П. А., Богатырёва Е. В. Контроль жизнеспособности молочных коров. Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 2 (38). С. 51-65.
8. Лукичев Д. Л., Лукичев В. Л. Влияние эффективного выращивания на параметры воспроизводства ремонтных телок. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 8. С. 136-141.
9. Разумовский Н. Профилактика кетоза у новотельных коров. Животноводство России. 2021. № 9. С. 37-41.
10. Харинотова А. С. Взаимосвязь между селекционными признаками у коров голштинской породы разных линий. Вестник аграрной науки. 2020. № 3 (84). С. 184-189.
11. Хурамшина М. Т., Махмутов А. Ф., Спиридонов Г. Н., Макаев Х. Н. Распространение желудочно-кишечных заболеваний новорожденных телят в регионе среднего Поволжья. Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. 2020. № 3. С. 280-284.
12. Челнокова М. И., Щербакова Н. А. Диагностика и терапия мастита коров. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 20-24.
13. Ширяев Г. В. Субклинический кетоз как фактор снижения репродуктивных показателей высокопродуктивных коров. Международный вестник ветеринарии. 2021. № 4. С. 219-228.
14. 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 Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 322-332.
15. Harlap S. Yu., Gorelik O. V., Safronov S. L., Gritsenko S. A., Belookov A. A., Zhuravel V. V. Correlation of productive longevity and reproductive functions in dairy cows. Agrarian science. 2022. № 9. Pp. 65-68.
16. Bang N. N., Chanh N. V., Trach, N. X., Khang D. N., Hayes B. J., Gaughan J. B., Lyons R. E., Hai N. T., McNeill D. M. Issues of feeding strategy for lactating cows in Vietnamese smallholder dairy farms. Animals (Basel). 2021. V. 11 (3). P. 729.

References

1. Anisimova E. I., Sycheva O. V. Comparative analysis of signs of dairy productivity of Simmental cattle of various linear affiliation. Agrarian Russia. 2019. № 6. Pp. 34-37.
2. Vasilyeva O. K. Relationship of fatness, milk productivity and reproductive qualities of first-calving cows. Genetics and animal breeding. 2019. № 2. Pp. 71-76.
3. Voronova I. V., Ignatieva N. L., Nemtseva E. Yu. Modern aspects of feeding dairy cows. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. № 1. Pp. 164-169.

4. Gutsulyak S. A., Ozdemirov A. A., Ramazanov D. M. The main factors affecting the state of natural resistance of newborn calves. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex are healthy food products. 2020. № 4. Pp. 129-133.
5. Ivanova I. P. Analysis of cow reproduction in dairy complexes of the Omsk region. Izvestia OGAU. 2020. № 6. Pp. 256-260.
6. Komlatsky V. I., Eremenko O. N. Features of improving the reproduction of a herd of cows. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2021. № 167. Pp. 75-83.
7. Gusarov I. V., Kornilova O. A., Bogolyubova N. V., Fomenko P. A., Bogatyreva E. V. Control of the viability of dairy cows. Dairy Bulletin. 2020. № 2 (38). Pp. 51-65.
8. Lukichev D. L., Lukichev V. L. The influence of effective cultivation on the reproduction parameters of repair heifers. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2018. № 8. Pp. 136-141.
9. Razumovsky N. Prevention of ketosis in new-hotel cows. Animal husbandry of Russia. 2021. № 9. Pp. 37-41.
10. Harinotova A. S. The relationship between breeding features in Holstein cows of different lines. Bulletin of Agrarian Science. 2020. № 3 (84). Pp. 184-189.
11. Khuramshina M. T., Makhmutov A. F., Spiridonov G. N., Makaev H. N. The spread of gastrointestinal diseases of newborn calves in the middle Volga region. Scientific notes of the KGAVM named after N. E. Bauman. 2020. № 3. Pp. 280-284.
12. Chelnokova M. I., Shcherbakova N. A. Diagnosis and therapy of mastitis of cows. News of the Velikiye Luki State Agricultural Academy. 2018. № 1. Pp. 20-24.
13. Shiryayev G. V. Subclinical ketosis as a factor in reducing reproductive indicators of highly productive cows. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2021. № 4. Pp. 219-228.
14. Gorlov I. F., Strovenkina M. I., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Vorontsova E. S., Tkachenkova N. A., Puzankova V. A., Moroz N. N. Efficiency of using a new feed additive in the late dry-resistant period of cows. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 1 (69). Pp. 322-332.
15. Harlap S. Yu., Gorelik O. V., Safronov S. L., Gritsenko S. A., Belookov A. A., Zhuravel V. V. Correlation of productive longevity and reproductive functions in dairy cows. Agrarian science. 2022. № 9. Pp. 65-68.
16. Bang N. N., Chanh N. V., Trach, N. X., Khang D. N., Hayes B. J., Gaughan J. B., Lyons R. E., Hai N. T., McNeill D. M. Issues of feeding strategy for lactating cows in Vietnamese small-holder dairy farms. Animals (Basel). 2021. V. 11 (3). P. 729

Информация об авторах

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), профессор кафедры «Технология 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

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 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

Николаев Дмитрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru

Суркова Светлана Анатольевна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID 0000-0001-6581-2702, e-mail: sv.a.surkova@yandex.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

Натыров Аркадий Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан Аграрного факультета, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, строение), ORCID 0000-0002-3219-0836, e-mail: natyrov_ak@mail.ru

Пузанкова Вера Александровна, соискатель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), студент, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, строение 3), e-mail: niimmp@mail.ru

Author's Information

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 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

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6), Head of the Department "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

Nikolaev Dmitry Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6), ORCID 0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru

Surkova Svetlana Anatolyevna, senior researcher at the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6, tel.: (8442) 39-13-24), ORCID 0000-0001-6581-2702, e-mail: sv.a.surkova@yandex.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6), e-mail: esvoronts@mail.ru

Natyrov Arkady Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Agrarian Faculty of "Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov" (Russian Federation, 358011, Republic of Kalmykia, Elista, building 3), ORCID 0000-0002-3219-0836, e-mail: natyrov_ak@mail.ru

Puzankova Vera Aleksandrovna, applicant for the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, st. Rokossovsky, 6), student of the Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358011, Republic of Kalmykia, Elista, building 3), e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-28

INNOVATIVE APPROACH TO IMPROVEMENT COMPOSITION OF DIETS IN INDUSTRIAL PIG BREEDING IN THE SOUTH EUROPEAN PART OF RUSSIA

D. K. Kulik¹, A. T. Varakin², A. A. Ryadnov², O. V. Golovatyuk¹, T. S. Samoylova²

¹All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: varakinat58@mail.ru

Received 02.10.2023

Submitted 21.11.2023

Abstract

Introduction. Research was carried out in the direction of improving the mineral composition of the diets of breeding boars in the conditions of an industrial pig-breeding complex. **Materials and methods.** The studies examined the effectiveness of using the tested feed products in the diets of breeding

boars: natural Volgograd bischofite separately and together with the organoselenium preparation Selenopyran. Control boars received as the main diet (OR) – complete feed; 1st experimental group – OR with the addition of natural bischofite at the rate of 8 ml per producer per day; 2nd experimental group – OR with the same amount of natural bischofite and together with the drug Selenopyran calculated at 0.833 mg per 1 kg of complete feed. **Results and conclusions.** Introduction of natural bischofite into diets separately and together with the drug Selenopyran had a positive effect on the reproductive qualities of breeding boars, morphological and biochemical status of their blood; productivity of breeding stock. Boars of the experimental groups had higher ejaculate volume indicators by 8.23-9.76%, sperm concentration in 1 ml of sperm by 5.53-7.83%, sperm activity by 6.82-9.09% than in the control. The producers of the experimental groups also had a higher number of red blood cells in their blood, leukocytes and higher hemoglobin content, and in blood serum - higher concentration of total protein by 1.56-2.18% and albumin by 6.81-7.89%. Compared to control, in breeding stock inseminated with sperm from experimental group boars, piglets had a live weight at birth higher by 3.65-5.84%, when weaned from sows at the age of 24 days – by 6.45-7.10%, and more piglets were received for weaning. Moreover, the best results were obtained with the joint use of the tested feed products.

Key words: producing boars, boar diets, bischofit, Selenopyran, reproducible qualities of boars, sows, pig productivity.

Citation. Kulik D. K., Varakin A. T., Ryadnov A. A., Golovatyuk O. V., Samoylova T. S. Innovative approach to improvement composition of diets in industrial pig breeding in the South European part of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 269-278 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-28.

Author's contribution. All authors of the study were directly involved in the planning, conducting or analyzing this work. The authors of this article are familiar with the submitted final version and approved it.

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

УДК 636.4.084/085

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СОСТАВА РАЦИОНОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ СВИНОВОДСТВЕ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Д. К. Кулик¹, доктор сельскохозяйственных наук
А. Т. Варакин², доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А. А. Ряднов², доктор биологических наук, профессор
О. В. Головатюк¹, соискатель
Т. С. Самойлова², кандидат сельскохозяйственных наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Исследования выполнены в направлении совершенствования минерального состава рационов хряков-производителей в условиях промышленного свиноводческого комплекса. **Материалы и методы.** В исследованиях была изучена эффективность использования в рационах хряков-производителей испытываемых кормовых средств: природного волгоградского бишофита отдельно и совместно с селенорганическим препаратом Селенопирин. Контрольные хряки получали в качестве основного рациона (ОР) – полнорационный комбикорм; 1-й опытной группы – ОР с добавлением природного бишофита из расчёта 8 мл на одного производителя в сутки; 2-й опытной группы – ОР с тем же количеством природного бишофита и совместно с препаратом Селенопирин в расчёте 0,833 мг на 1 кг полнорационного комбикорма. **Результаты и выводы.** Введение в рационы природного бишофита отдельно и совместно с препаратом Селенопирин положительно повлияло на воспроизводительные качества хряков-производителей, морфологический и биохимический статус их крови; продуктивность маточ-

ного поголовья. Хряки опытных групп имели выше показатели объема эякулята на 8,23-9,76 %, концентрации спермиев в 1 мл спермы на 5,53-7,83 %, активности спермиев на 6,82-9,09 %, чем в контроле. У производителей опытных групп было также выявлено в крови большее количество эритроцитов, лейкоцитов и выше содержание гемоглобина, а в сыворотке крови – более высокая концентрация общего белка на 1,56-2,18 % и альбуминов на 6,81-7,89 %. В сравнении с контролем, у маточного поголовья, осеменённого спермой хряков опытных групп, поросята имели живую массу при рождении выше на 3,65-5,84 %, при их отъёме от свиноматок в возрасте 24 дней – на 6,45-7,10 %, а также было получено к отъёму больше поросят. При этом лучшие показатели получены с совместным использованием испытуемых кормовых средств.

Ключевые слова: хряки-производители, рационы хряков, бишофит, Селенопиран, воспроизводительные качества хряков, свиноматки, продуктивность свиней.

Цитирование. Кулик Д. К., Варакин А. Т., Ряднов А. А., Головатюк О. В., Самойлова Т. С. Инновационный подход к совершенствованию состава рационов в промышленном свиноводстве на юге европейской части России. *Известия НВ АУК*. 2023. 4 (72). 269-278. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-28.

Авторский вклад. Все авторы проведённого исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе данной работы. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Применение инновационных подходов, эффективных технологических решений позволяет улучшить процесс воспроизводства стада, увеличить объёмы производства животноводческой продукции. Здесь следует отметить необходимость и важность проведения работы в направлении дальнейшего совершенствования технологических приёмов при ведении свиноводства на промышленной основе.

Как и в предыдущие годы, в настоящее время трудами исследователей разрабатываются способы кормления сельскохозяйственных животных, кормосмеси, различные кормовые средства: добавки и препараты. Ведутся работы по поиску новых кормовых средств для оптимизации качественного состава рационов, расширению ассортимента используемых в них перспективных ингредиентов. Использование в производстве таких разработок приводит к повышению зоотехнических показателей животных и птицы и экономически обосновано [5, 7, 11, 13-16].

Вместе с этим, в практической работе в хозяйствах и научно-исследовательских трудах уделяется значительное внимание одному из важнейших звеньев технологии животноводства, а именно воспроизводству стада [1, 8, 10].

Следует отметить, что балансирующие добавки в корм животным способствуют улучшению показателей продуктивности, качества производимой продукции, воспроизводительной функции и затрат корма [4, 6, 9], что следует учитывать при составлении рационов в промышленном свиноводстве.

Однако в условиях промышленной технологии животные особенно нуждаются в обеспечении кормлением, отвечающим потребностям их организма. Исходя из этого, имеет место необходимость проведения исследовательских работ в свиноводстве по улучшению уровня минерального питания, что требует совершенствования состава используемых рационов [12, 17].

При этом решению проблемы улучшения уровня минерального питания, в частности хряков-производителей, может способствовать применение природного волгоградского бишофита, и в первую очередь в качестве источника жизненно важного макроэлемента – магния. Это также позволяет более рационально использовать местные кормовые ресурсы.

В настоящее время у исследователей и в животноводческих хозяйствах существенный интерес вызывает жизненно необходимый (биогенный, биотический) минеральный элемент – селен, и его использование в виде препаратов в органической форме. Его содержание в организме относительно мало, по сравнению с другими микроэлементами, и поэтому он отнесён к ультрамикроэлементам. Однако селен выполняет большую важную роль в жизнедеятельности сельскохозяйственных животных.

Поэтому для науки и практики ведения промышленного свиноводства значительный интерес представляет выполнение разработок по расширению ассортимента используемых перспективных компонентов в комбикормах, а именно рассола бишофита и органического селенсодержащего препарата Селенопиран, что является важным и актуальным.

Целью исследований являлось изучение воспроизводительной функции свиней при скормливании хрякам-производителям в рационе волгоградского бишофита и в комплексе с ним препарата Селенопиран.

Согласно полученным результатам исследования, предполагается дать объективную оценку по использованию новых компонентов совершенствуемого рациона.

Материалы и методы. Поставленная цель была достигнута и задачи решены проведением научно-исследовательской работы в ООО «ТопАгро» Волгоградской области. В исследованиях использовали хряков-производителей породы дюрок. Из них для проведения эксперимента использовали подопытные группы, в том числе контрольную (базового варианта) и опытные (1-я и 2-я). Подбирали хряков в группы по принципу аналогов по пять голов в каждую.

Опыт на хряках составил девяносто дней и включал периоды: предварительный, переходный и главный (учётный), с продолжительностью 10, 5 и 75 дней соответственно. В течение главного периода эксперимента контрольные животные получали в качестве рациона: полнорационный комбикорм; 1-й опытной группы: дополнительно к нему – рассол бишофита (8 мл/производителю/сутки); 2-й опытной: дополнительно к комбикорму – столько же бишофита в комплексе с Селенопиран (0,833 мг/кг комбикорма).

При изучении качества спермы производителей, морфо-биохимического статуса их крови использовали общепринятые методики.

В физиологических исследованиях, проведённых во время научно-хозяйственного опыта, изучили переваримость и усвоение питательных веществ корма хряками.

Спермой каждого производителя было проведено осеменение по пять свиноматок, у которых после опороса исследовали продуктивность.

Экспериментальные данные обработаны с применением метода вариационной статистики.

Результаты и обсуждение. Рационы хрякам разработали с учётом детализированных норм кормления РАСХН (Калашников А. П. и др., 2003), и в сутки для каждого производителя было использовано 3,7 кг полнорационного комбикорма соответствующей питательной ценности.

Оптимальное количество природного волгоградского бишофита хрякам-производителям 1-й и 2-й опытных групп в расчёте на каждое животное, а именно 8 мл – установили в ранее проведённых исследованиях.

Составляя рецепты комбикормов для животных с использованием препарата Селенопиран, учитывают, что содержание селена в нём – 24 %, и его можно использовать в качестве альтернативы для селенита натрия.

В исследованиях на хряках-производителях весьма важное научное и практическое значение имеет изучение количества и качества произведенной спермопродукции. Для этого у всех животных в группах через каждые пятнадцать дней были исследованы от них эякуляты.

Согласно полученным данным было установлено, что проведенная экспериментальная работа по совершенствованию состава рационов подопытных хряков с использованием испытываемых кормовых средств положительно повлияла на их продуктивные качества. Результаты исследования количества эякулята и качества спермы производителей представлены на рисунке 1.

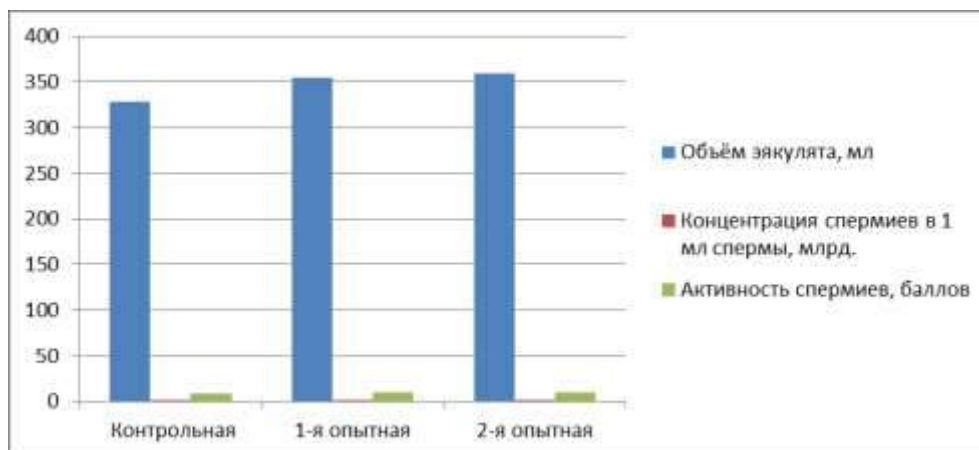


Рисунок 1 – Количество и качество спермы
Picture 1 – Sperm quantity and quality

Так, в среднем объём эякулята у производителей в контроле составил 328,0 мл, а в опытных группах увеличился на 8,23 ($P<0,01$) и 9,76 % ($P<0,01$) соответственно.

Контрольные хряки имели концентрацию спермиев в 1 мл спермы и их активность, соответственно 0,217 млрд. и 8,8 баллов. Однако в опытных группах установлено их улучшение: в 1-й – на 5,53 ($P<0,05$) и 6,82 % ($P<0,05$); во 2-й – на 7,83 % ($P<0,01$) и 9,09 % ($P<0,01$) соответственно.

В опытных группах выявлено повышение переваримости веществ корма: сухого и органического, сырого протеина и сырого жира, сырой клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ, по сравнению с контрольной группой, а лучшие показатели достигнуты во 2-й группе. При этом полученные результаты между базовым вариантом и опытными группами были с высокой степенью достоверности.

Физиологическими исследованиями также установлено, что у сравниваемых производителей баланс азота был положительным, с более эффективным его усвоением из корма животными, получавшими в дополнение к ОР испытываемые кормовые средства. Причём, лучший результат по изучаемому показателю выявлен во 2-й опытной группе.

Следует также отметить, что полученные в физиологическом эксперименте данные по улучшению изучаемых показателей у хряков опытных групп согласуются с вышеприведёнными результатами их воспроизводительных качеств.

В исследовательской работе, связанной с оптимизацией рационов сельскохозяйственных животных, выполняется изучение их гематологических показателей и продуктивности. При этом сообщается о взаимосвязи показателей составляющих крови и продуктивных качеств животных [2, 3, 18].

Исследования показали, что морфобиохимические показатели крови у производителей в группах соответствовали физиологической норме.

Так, в опытных группах с включением в рационы испытываемых кормовых средств была выявлена статистически достоверная разница по большему количеству эритроцитов в крови и по более высокому содержанию в ней гемоглобина, чем в базовом варианте. Производители опытных групп также имели достоверно большее количество лейкоцитов в крови, в сравнении с контролем.

Исследованиями также установлен более высокий уровень содержания по общему белку, альбуминам и глобулинам в сыворотке крови опытных групп хряков (рисунок 2).

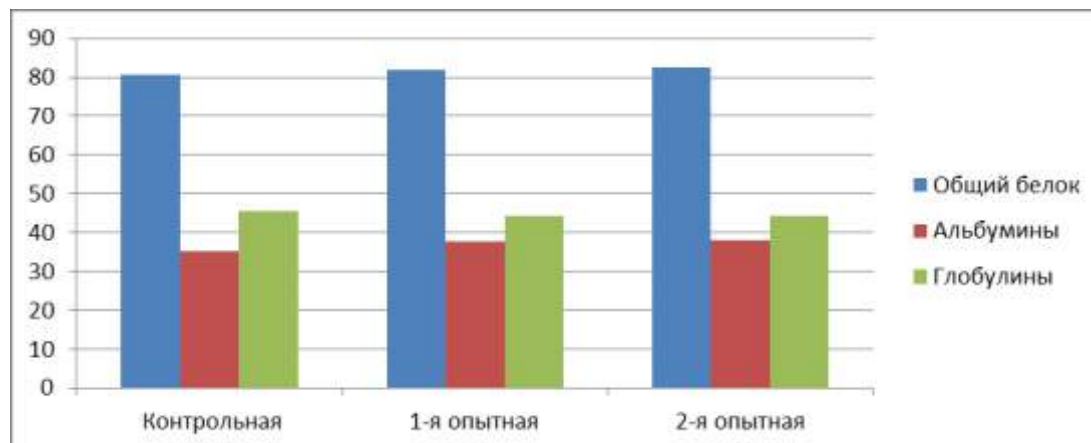


Рисунок 2 – Общий белок и его фракции в сыворотке крови, г/л
Picture 2 – Total protein and its fractions in blood serum, g/l

Концентрация общего белка в сыворотке крови производителей в контроле составила 80,70 г/л, а в 1-й опытной группе была статистически достоверно больше на 1,26 г/л или 1,56 % при уровне вероятности $P < 0,01$ и во 2-й опытной – достоверно больше на 1,76 г/л или 2,18 % при значении $P < 0,001$.

Хряки 1-й опытной группы имели содержание альбуминов в сыворотке крови со статистически достоверным увеличением на 2,40 г/л или 6,81 % при значении $P < 0,01$; 2-й опытной группы – на 2,78 г/л или 7,89 % при $P < 0,001$, в сравнении с базовым вариантом (35,25 г/л). В то же время, животные сравниваемых групп имели в сыворотке крови определённое содержание глобулинов, г/л: контрольная – $45,45 \pm 0,17$, 1-я опытная – $44,31 \pm 0,44$ и 2-я опытная – $44,43 \pm 0,39$.

При этом в процентном отношении от общего белка в сыворотке крови содержание альбуминов в опытных группах было выше базового варианта, с лучшим результатом во 2-й опытной группе.

Содержание общего кальция, неорганического фосфора и магния в сыворотке крови производителей приведено на рисунке 3.

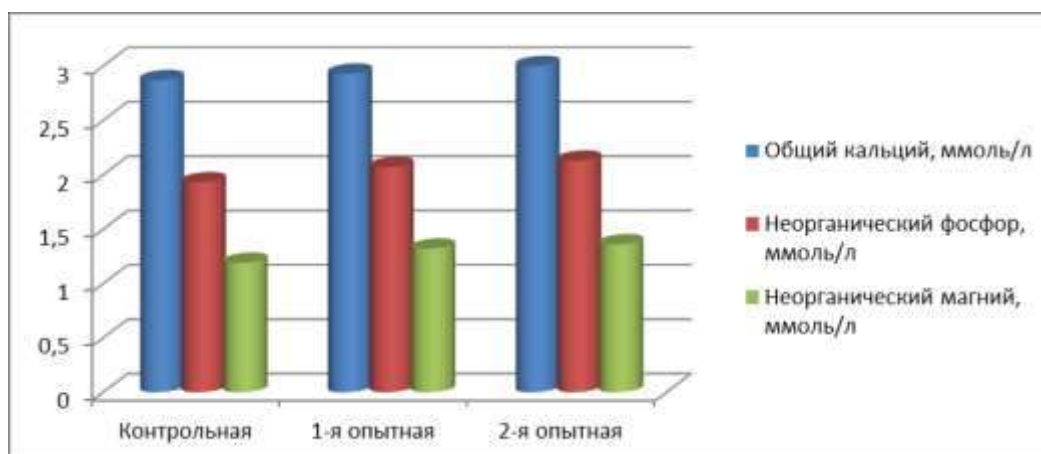


Рисунок 3 – Концентрация минеральных элементов в сыворотке крови
Picture 3 – Concentration of mineral elements in blood serum

Так, контрольные хряки имели концентрацию общего кальция в сыворотке крови – 2,87 ммоль/л, а 1-й и 2-й опытных групп – выше, соответственно на 2,09 и 4,53 % ($P<0,05$). Содержание неорганического фосфора в сыворотке крови в контроле составило 1,93 ммоль/л, а в опытных группах установлено повышение на 7,25 ($P<0,05$) и 10,36 % ($P<0,01$) соответственно.

По концентрации неорганического магния в сыворотке крови опытные группы превосходили контроль (1,19 ммоль/л), соответственно на 10,92 ($P<0,05$) и 14,29 % ($P<0,01$).

Свиноматки, осеменённые спермой производителей, имели продуктивность, которая показана на рисунке 4.

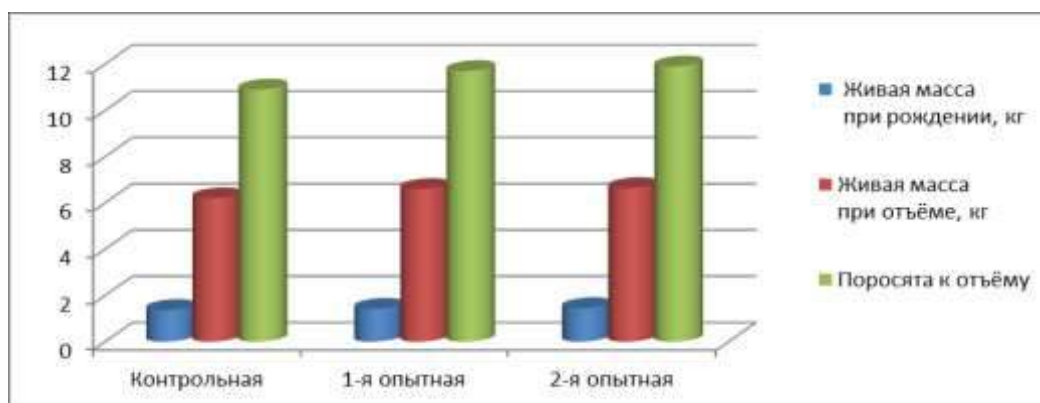


Рисунок 4 – Продуктивность маточного поголовья
Picture 4 – Breeding stock productivity

Так, свиноматки базового варианта имели среднюю живую массу новорождённых поросят – 1,37 кг, а опытных групп – выше на 3,65 и 5,84 % соответственно. У свиноматок в контроле поросята-отъёмыши (возраст 24 дня) имели среднюю живую массу – 6,20 кг, а в опытных группах было установлено превосходство по данному показателю на 6,45 и 7,10 %. От маточного поголовья в контроле получили в среднем к отъёму 10,9 поросят, а в опытных группах выявлено преимущество, соответственно на 7,34 и 9,17 %. Лучшие результаты по вышеназванным показателям имели животные 2-й опытной группы.

За время подсосного периода поросят (за 24 дня) средний суточный прирост живой массы одной головы в контроле составил 201,3 г, а особи опытных групп имели изучаемый показатель с преимуществом – 215,8-216,3 г.

Вместе с вышеприведёнными экспериментальными данными, важно отметить, что оценка экономической эффективности настоящих исследований свидетельствовала о том, что скормливание хрякам бишофита целесообразно, и особенно с препаратом Селенопиран.

Выводы. Согласно результатам проведённого исследования, в условиях промышленного свиноводческого комплекса совершенствование состава рационов путём включения в полнорационный комбикорм волгоградского бишофита и в комплексе с ним Селенопирана находит положительное отражение на количестве эякулята и качество спермы производителей, их физиологическом состоянии. Использование произведённой таким образом спермопродукции, позволяет значительно увеличить продуктивность маточного поголовья. При этом лучшие показатели получены при комплексном использовании природного бишофита и препарата Селенопиран.

Conclusions. According to the results of the study, in the conditions of the industrial pig-breeding complex, the improvement of the composition of diets by including Volgograd bishofite in the full-fat feed and in combination with it Selenopirana is positively reflected in the amount of ejacu-

late and the quality of sperm of producers, their physiological state. The use of sperm production produced in this way makes it possible to significantly increase the productivity of the breeding stock. At the same time, the best indicators were obtained with the integrated use of natural bishofite and Seleporan.

Библиографический список

1. Баймишев Х. Б., Перфилов А. А., Самородова А. А. Инновационный приём повышения интенсивности роста, развития телок голштинской породы. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. Вып. 2. С. 63-66.
2. 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.
3. 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.
4. Юшкин Д. С. и др. Воспроизводительные качества хряков-производителей при использовании в рационе природного бишофита. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 4 (44). С. 177-182.
5. Дуборезов В. Повышение эффективности использования рациона молочных коров. Комбикорма. 2017. № 2. С. 83-84.
6. Зотеев В. С. и др. Комплексная минеральная добавка в рационе лактирующих коров в летний период. Проблемы развития АПК региона. 2014. Т. 18. № 2 (18). С. 58-61.
7. Симонов Г. и др. Кормление КРС полнорационной смесью эффективнее. Комбикорма. 2013. № 10. С. 63-64.
8. Ухтверов А. М. и др. Наследственная обусловленность долголетия свиней. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. Вып. 4. С. 102-108.
9. Зотеев В. С. и др. Оптимизация уровня меди в рационе холостых овцематок. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 31-34.
10. Баймишев Х. Б. и др. О сроках осеменения высокопродуктивных коров после отела. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. Вып. 4. С. 29-33.
11. Полозюк О. Н., Полотовский К. А. Активизация роста поросят в постнатальный период при использовании «Глималаск Лакт» и «Агроцид супер олиго». Аграрный научный журнал. 2018. № 4. С. 28-31.
12. Варакин А. Т. и др. Природный бишофит в рационах хряков-производителей. Зоотехния. 2017. № 3. С. 22-25.
13. Сепурина М. А. и др. Продуктивные качества дойных коров при оптимизации минеральной обеспеченности рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 269-280.
14. Симонов Г. А., Гайирбегов Д. Ш., Федин А. С. Влияние препарата крезеоферан на энергию роста ремонтного молодняка кур-несушек. Эффективное животноводство. 2013. № 5 (91). С. 22-23.
15. Симонов Г., Гайирбегов Д., Федин А. Ферросил повышает продуктивность кур-несушек. Комбикорма. 2015. № 4. С. 62.
16. Варакин А. Т. и др. Эффективность производства молока с использованием льняного и рапсового жмыхов. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. Вып. 3. С. 30-34.
17. Batanov S. D., Perevozchikov A. L., Novikova L. A. Application of vitamin-mineral supplement in intensive use of boars and its effect on reproductive qualities. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. 2 (26). Pp. 471-474.
18. Varakin A. T. et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. 2020. V. 222. Pp. 1-8.

References

1. Baimishev Kh. B., Perfilov A. A., Samorodova A. A. Innovative technique for increasing the intensity of growth, development of heifers of the Holstein breed. News of the Samara State Agricultural Academy. 2017. No 2. Pp. 63-66.
2. 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.
3. Varakin A. T. et al. Effect of the new feed supplement on productivity and physiological performance of dairy cows. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. № 1 (61). Pp. 222-231.
4. Yushkin D.S. et al. Reproducible qualities of producing boars when used in the diet of natural bischofite. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2016. № 4 (44). Pp. 177-182.
5. Duborezov V. Increasing the efficiency of using the diet of dairy cows. Compound feed. 2017. № 2. Pp. 83-84.
6. Zoteev V. S. et al. Complex mineral supplement in the diet of lactating cows in summer. Problems of development of the agro-industrial complex of the region. 2014. V. 18. № 2 (18). Pp. 58-61.
7. Simonov G. et al. Feeding the cattle with a full-speed mixture is more effective. Compound feed. 2013. № 10. Pp. 63-64.
8. Ukhtverov A. M. et al. Hereditary conditioning of pig longevity. News of the Samara State Agricultural Academy. 2018. No 4. Pp. 102-108.
9. Zoteev V. S. et al. Optimization of copper levels in the diet of single ewes. Sheep, goats, wool business. 2018. № 2. Pp. 31-34.
10. Baimishev Kh. B. et al. On the timing of insemination of highly productive cows after calving. News of the Samara State Agricultural Academy. 2019. No 4. Pp. 29-33.
11. Polozyuk O. N., Polotovskiy K. A. Activation of piglet growth in the postnatal period using Glimalask Lakt and Agrocide super oligo. Agrarian Scientific Journal. 2018. № 4. Pp. 28-31.
12. Varakin A. T. et al. Natural bischofite in the rations of producing boars. Zootechnia. 2017. № 3. Pp. 22-25.
13. Sepurina M. A. et al. Productive qualities of dairy cows when optimizing the mineral supply of diets. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. № 4 (60). Pp. 269-280.
14. Simonov G. A., Gayirbegov D. Sh., Fedin A. S. Effect of the drug cresooforan on the growth energy of repair young laying hens. Efficient animal husbandry. 2013. № 5 (91). Pp. 22-23.
15. Simonov G., Gayirbegov D., Fedin A. Ferrosil increases the productivity of laying hens. Compound feed. 2015. № 4. P. 62.
16. Varakin A. T. et al. Efficiency of milk production using linseed and rapeseed cake. News of the Samara State Agricultural Academy. 2018. No. 3. Pp. 30-34.
17. Batanov S. D., Perevozchikov A. L., Novikova L. A. Application of vitamin-mineral supplement in intensive use of boars and its effect on reproductive qualities. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. No 2 (26). Pp. 471-474.
18. Varakin A. T. et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. 2020. V. 222. Pp. 1-8.

Информация об авторах

Кулик Дмитрий Константинович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия – филиала 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

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Частная зоотехния», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: varakinat58@mail.ru

Ряднов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, заведующий кафедрой «Ветеринарно-санитарная экспертиза, заразные болезни и морфология», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: radnov@mail.ru

Головатюк Ольга Владимировна, старший лаборант-исследователь отдела интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), e-mail: golovatuk2011@yandex.ru

Самойлова Татьяна Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Частная зоотехния», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: kolobova2802@mail.ru

Author's Information

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: gals-tuk107@yandex.ru

Varakin Aleksander Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Private Livestock Engineering of the Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiy, 26), e-mail: varakinat58@mail.ru

Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiy, 26), e-mail: radnov@mail.ru

Golovatyuk Olga Vladimirovna, senior laboratory assistant-researcher of the Department of Intensive Crop Cultivation Technologies of the 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: golovatuk2011@yandex.ru

Samoilova Tatyana Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Private Livestock Engineering, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiy, 26), e-mail: kolobova2802@mail.ru

DOI:10.32786/2071-9485-2023-04-29

SELECTION INDEX OF BLACK-AND-WHITE BREED SIRES OF POPULATION IN MOSCOW REGION ON THE TRAITS OF DAIRY PRODUCTIVITY, REPRODUCTION AND EXTERIOR OF DAUGHTERS

A. F. Conte, I. S. Nedashkovsky, A. A. Sermyagin

*L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
Moscow region, the village of Dubrovitsy, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: alexandrconte@ya.ru

Received 17.07.2023

Submitted 10.10.2023

***The studies were carried out of the Government task of Ministry of Education and Science of
Russian Federation Г3 0445-2021-0016***

Summary

The article presents the results of the calculation of the selection index of black-and-motley sires of the population of the Moscow region on the signs of dairy productivity, reproduction and exterior of daughters. Achieving the maximum selection effect can be achieved using aggregate information on selection traits, which can be obtained using a selection index. And since the selection index in this case implies an assessment of the producers, then in the future it would be necessary to evaluate the breeding value of the daughters themselves through the selection index.

Abstract

Introduction. The aim of the work was to develop a comprehensive system for assessing the economically useful traits of black-and-white sires based on the selection index. **Object.** The object of research were first-calf heifers ($n=10492$) of the black-and-white breed of the Moscow region. **Materials and methods.** The data includes traits of milk production, fertility and exterior. As exterior features, we took into account 17 features of the linear evaluation of the "B" system. **Results and conclusions.** The daughters of the studied black-and-white breed sires have fairly good indicators of milk productivity, with a milk yield of 7142.8 kg of milk for the 1st lactation with a protein and fat content of 3.25 and 4.10%, respectively. Traits of fertility and milk production have low values of the coefficient of heritability. Among them, the protein content ($h^2=0.17$) and the age of the 1st fruitful insemination ($h^2=0.18$) stand out. Regarding the traits of exterior, they also do not differ in a high level. Only stature, rump angle, teat length, and angularity have higher heritability values ($h^2=0.19-0.22$). Milk yield for the first lactation has a negative correlation with fat and protein content ($r = -0.382 \dots -0.448$). At the same time, they have a positive relationship with each other ($r = 0.584$). Of all the studied traits, such traits of reproduction as the number of inseminations / service period and intercalving period had the highest correlation between themselves ($r = 0.8-0.9$). The same regularity was noted in their phenotypic correlations. Their negative relationship with the milky type was also established ($r = -0.471 \dots -0.573$). With a change in the share of weight coefficients, a change in the indicators of the selection index (ETI) is observed. The highest and lowest values are observed in the second column, where 0.5 (50%) of the selection weight is assigned to the share of milk productivity. Achieving the maximum selection effect can be achieved using aggregate information on selection traits, which can be obtained using a selection index.

Key words: sires, black-and-white breed of cattle, breeding index of sires.

Citation. Conte A. F., Nedashkovsky I. S., Sermyagin A. A. (2023). Selection index of black-and-white breed sires of population in Moscow region on the traits of dairy productivity, reproduction and exterior of daughters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 278-291 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-29.

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 + 636.2.034

СЕЛЕКЦИОННЫЙ ИНДЕКС БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ ПОПУЛЯЦИИ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА ПО ПРИЗНАКАМ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ, ВОСПРОИЗВОДСТВА И ЭКСТЕРЬЕРА ДОЧЕРЕЙ

А. Ф. Контэ, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

И. С. Недашковский, младший научный сотрудник

А. А. Сермягин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста

Московская область, поселок Дубровицы, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Минобрнауки России
ГЗ 0445-2021-0016

Актуальность. Целью работы являлась разработка комплексной системы оценки хозяйственно-полезных признаков быков-производителей черно-пестрой породы на основе селекционного индекса. **Объект.** Объектом исследований нами выбраны первотелки ($n=10492$) черно-пестрой породы Подмосковья. **Материалы и методы.** Данные включают признаки молочной продуктивности, фертильности и экстерьера. В качестве признаков экстерьера мы учи-

тывали 17 признаков линейной оценки системы «Б». **Результаты и выводы.** Дочери изучаемых производителей черно-пестрой породы обладают достаточно неплохими показателями молочной продуктивности, при удое за 1-ю лактацию 7142.8 кг молока с содержанием белка и жира 3.25 и 4.10% соответственно. Признаки фертильности и молочной продуктивности обладают низкими значениями коэффициента наследуемости. Среди них выделяется содержание белка ($h^2=0.17$) и возраст 1-ого плодотворного осеменения ($h^2=0.18$). Относительно же признаков экстерьера, то они также не отличаются высоким уровнем. Только высота в крестце, положение зада, длина сосков и молочный тип имеет более высокие значения наследуемости ($h^2=0.19-0.22$). Удой за первую лактацию имеет отрицательную корреляцию с содержанием жира и белка ($r = -0.382...-0.448$). При этом они обладают положительной связью между собой ($r = 0.584$). Из всех исследуемых признаков наибольшей корреляционной связью между собой обладали такие признаки воспроизводства, как количество осеменений / сервис-период и межотельный период ($r = 0.8-0.9$). Такая же закономерность у них отмечена и по фенотипическим корреляциям. Установлена также отрицательная их связь с молочным типом ($r = -0.471...-0.573$). С изменением доли весовых коэффициентов наблюдается изменение показателей селекционного индекса (ЕТИ). Наивысшие и наименьшие значения наблюдаются во втором столбце, где на долю молочной продуктивности отведено 0,5 (50%) из селекционного веса. Достижение максимального селекционного эффекта можно достичь используя совокупную информацию по селекционным признакам, что можно получить при использовании селекционного индекса.

Ключевые слова: быки-производители, черно-пестрая порода скота, селекционный индекс быков-производителей.

Цитирование. Контэ А. Ф., Недашковский И. С., Сермягин А. А. (2023). Селекционный индекс быков-производителей черно-пестрой породы популяции Московского региона по признакам молочной продуктивности, воспроизводства и экстерьера дочерей. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 278-291. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-29.

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. Генетический прогресс в популяции молочного скота сегодня невозможен без ведения индексной селекции с учетом совокупности признаков племенной ценности животного при отборе [1].

Племенная ценность коров по молочной продуктивности лишь отчасти определяется фенотипическим проявлением трех признаков (удой, выход молочного жира и белка), которые не могут служить достаточно объективным критерием для отбора особей в селекционные группы. В гораздо большей степени комплексная оценка животных обусловлена их генетическими характеристиками по этим признакам. Фенотипические и генетические ценности коров по содержанию жира и белка в молоке практически не оказывают влияния на комплексную оценку племенной ценности животных. Наряду с этим отмечено, что оценки коров, определенные на основе оптимизированного индекса, включающего в себя два показателя (выход молочного жира и белка) из пяти, не уступают по точности и достоверности оценкам, рассчитанным по полному селекционному индексу [2].

При рассмотрении вопроса использования селекционных индексов при комплексной оценке быков-производителей костромской породы отмечено, что максимальной точностью оценки совокупного генотипа характеризуется модель, включающая три показателя. Следует отметить, что она вполне приемлема с точки зрения простоты использования (все данные имеются в форме 2-мол и легко переносятся в системы обчёта). Ее недостатком, также, как и модели, включающей два показателя является высокая степень

нелинейности генетических и фенотипических связей между надоем и сервис-периодом. Однако точность оценки совокупного генотипа не является окончательным аргументом для отбора модели, используемой в функционирующей селекционной системе. В связи с этим дополнительно рассчитывают степень генетического улучшения по каждой модели при уровне отбора, равном 70 % (интенсивность селекции равна 0,4960). Использование селекционных индексов при комплексной оценке быков-производителей позволяет дать полную оценку быков по продуктивным и воспроизводительным качествам, что оказывает влияние на эффективность селекции [3].

По мнению И. Н. Янчукова при комплексной оценке молочного скота на основе селекционного индекса, племенная ценность коров по молочной продуктивности лишь отчасти определяется фенотипическим проявлением трех признаков (удой, выход жира и белка), которые не могут служить объективным критерием для отбора особей в селекционные группы. В гораздо большей степени комплексная оценка обусловлена генетическими характеристиками животных по этим признакам. Фенотипические и генетические ценности коров по содержанию жира и белка в молоке практически не оказывают влияния на их комплексную племенную ценность. Достаточный уровень стабильности индексных оценок коров по молочной продуктивности достигается по результатам двух–трех законченных лактаций [4].

Сермягин А. А. при расчете экономического селекционного индекса установил, что послужило мерой оценки межстадных генетических различий. Согласно исследованиям, в трех стадах из четырех были достигнуты показатели более высокой экономической эффективности от разведения скота с генетическим потенциалом, превышающим средний популяционный порог в 100 % на 1,6-4,3%. Для стада номер III результаты были также положительными, однако по сравнению с выбывшими генерациями животных снижение показателя индекса лактирующих в настоящий момент коров составляло 0,9 %. Несмотря на это, были обозначены как лидеры, так и аутсайдеры при сравнительной характеристике стад по племенной ценности маточного поголовья. Среднее генетическое улучшение по индексу стада достигало +3,2% экономического дифференциала (Живые/Выбывшие). В этой связи экономическая оценка на основе селекционного индекса является эффективным инструментом характеристики отдельных стад по комплексу признаков молочной продуктивности [5].

Харитонов С. Н. полагает, что результаты моделирования селекционного процесса в популяции черно-пестрого скота Московской области убедительно доказывают необходимость построения селекционного индекса генетической ценности племенных животных, на основе которого следует оптимизировать комплектование селекционных групп особей, способствующих генетическому совершенствованию популяции как по отдельным признакам молочной продуктивности, так и по их комплексу. Весьма показательно, что при отборе быков-производителей по отдельным селекционным признакам (фактически вне зависимости от интенсивности отбора) в группу отобранных животных будут включены особи, не только генетически не улучшающие животных популяции по другим хозяйственно-полезным признакам, но и способствующие даже их наследственному ухудшению. Например, если отбирать быков по индексу удоя дочерей, то сформированные селекционные группы содержат животных с генетическими задатками, способствующими снижению показателей молока (содержание жира и содержание белка в молоке) у потомства. Аналогичная ситуация наблюдается и при формировании групп производителей по другим отдельным селекционным показателям. И лишь в случае отбора быков по разработанному селекционному индексу все селекционные группы включают особей с позитивными значениями племенной ценности по всем хозяйственно-полезным признакам [6].

Целью работы являлась разработка комплексной системы оценки хозяйственно-полезных признаков быков-производителей черно-пестрой породы на основе селекционного индекса.

Задачи исследования:

- определить параметры генетической изменчивости признаков производителей черно-пестрой породы;
- проанализировать генетические и фенотипические корреляции хозяйственно-полезных признаков быков черно-пестрой породы;
- установить весовые коэффициенты и вывести расчет субиндексов для создания селекционного индекса;
- сопоставить племенную ценность (оценка EBV) между собой через селекционный индекс.

Материалы и методы.

Объектом исследований нами выбраны первотелки черно-пестрой породы Подмосковья, данные по 10492 головам. Данные включают признаки молочной продуктивности, фертильности и экстерьера. В качестве признаков экстерьера мы учитывали 17 признаков линейной оценки системы «Б», используемой в селекции для оценки производителя по признакам экстерьера дочерей.

При помощи программы REMLF90 были получены цифровые значения генетических вариантов и коварианс исследуемых признаков животных в соответствии с уравнениями модели [7]:

$$Y_{mik} = \mu + HYS_m + b_1YOK_n + b_2LND_n + Sire_i + ef_{mik}, \quad (1)$$

где: Y_{mik} – анализируемый показатель оценки телосложения n -ой коровы первого отела; μ – популяционная константа; $b_{1,2}$ – коэффициенты линейной регрессии; HYS_m – установленный эффект m -го стадо, год и сезон отела; LD – день лактации k -ой коровы на момент оценки; YO_n – возраст первого отела n -ой коровы; $Sire_i$ – произвольный эффект i -го отца-быка; ef_{mik} – эффект не учитываемых факторов [8, 9].

Значения вариантов и коварианс выборки определены методом последовательных замещений Гаусса – Зейделя [9,10].

Согласно модели смешанного типа, охватывающей все взаимосвязанные показатели, оценивали паратипические и генетические корреляции [11].

Среди всех составляющих важнейшее значение имеет точность оценки генетических особенностей животного, которое в целом определяется точностью построения уравнения оценки. Для обеспечения максимальной точности оценки племенной ценности необходимо использовать точную информацию о родственниках, которая учитывается через матрицу родства в рамках уравнения смешанной модели.

Уравнение селекционного индекса имеет вид:

$$I = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n, \quad (2)$$

где: a_i – коэффициент «веса» j -го признака в структуре индекса; x_n – оценка племенной ценности j -го признака.

В матричном виде селекционный индекс приобретает вид:

$$I = \sum_{j=1}^t X_j a_j = X' a, \quad (3)$$

где X_j – оценка племенной ценности i -го признака; a_j – индексный вес i -го признака; X' – вектор значений оценок племенной ценности по включенным в индекс признакам; $a = [a_1, a_2, \dots, a_t]$ – вектор индексных весов.

Максимальное увеличение корреляционной связи между значениями индекса и агрегатного генотипа является одним из основных критериев выбора индексных весов. Индексные веса, соответствующие этому критерию, служат решением системы уравнений:

$$a = P_{oh}^{-1} G_0 V, \quad (4)$$

где: P_{oh}^{-1} – обратная фенотипическая ковариационная матрица признаков, включенных в селекционный индекс; G_0 – аддитивная генетическая ковариационная матрица между признаками включенными в селекционный индекс и признаками включенными в агрегатный генотип; V – селекционный вес признака.

На основе полученных вариационных компонентов был проведен расчет параметров генетической изменчивости между признаками и их наследуемости, а также оценка влияния паратипических факторов.

Результаты и обсуждение. Мы соотнесли хозяйственно-полезные признаки по трем группам: молочная продуктивность – удой за первую лактацию; содержание жира; содержание белка; фертильность – возраст 1-ого плодотворного осеменения; живая масса при 1-ом плодотворном осеменении; количество осеменений; сервис-период; межотельный период; экстерьер – высота в крестце; глубина туловища; положение зада; ширина зада; угол задних ног (вид сбоку); высота пятки; постановка задних ног (вид сзади); прикрепление передних долей; высота задних долей; центральная связка; глубина вымени; расположение передних сосков; длина сосков; крепость телосложения; молочный тип; длина передних долей; скакательный сустав (вид сзади) (таблица 1).

Таблица 1 – Значения признаков дочерей оцениваемых быков
Table 1 – Values of the characteristics of the daughters of the evaluated bulls

Признаки (Traits)	М	±m	σ	Эксцесс (Kurtosis)
	Молочная продуктивность (Milk production)			
1	2	3	4	5
Удой за первую лактацию, кг (Milk yield for first lactation, kg)	7142.8	13.6	1393.5	1.47
Содержание жира, % (Milk fat percent)	4.10	0.004	0.37	1.57
Содержание белка, % (Milk protein percent)	3.25	0.002	0.19	0.70
	Фертильность (Fertility)			
Возраст 1-ого плодотв. осем., мес. (Age at first fertile insemination, month)	17.9	0.035	3.54	1.96
Живая масса при 1-ом плодотв. осем., кг (Live weight at the first fruitful insemination, kg)	404.9	0.406	41.62	1.51
Количество осеменений (Quantity of inseminations)	2.37	0.016	1.68	7.04
Сервис-период, дн. (Days out, days)	166.7	1.01	103.1	4.76
Межотельный период, дн (Intercalving period, days)	442.9	1.01	103.2	4.65
	Экстерьер* (Exterior)			
Высота в крестце (Stature)	5.7	0.011	1.16	0.50
Глубина туловища (Body depth)	6.3	0.010	0.99	-0.07
Положение зада (Rump angle)	4.9	0.013	1.35	-0.39
Ширина зада (Rump width)	5.5	0.011	1.11	-0.22
Угол задних ног (вид сбоку) (Rear legs set)	4.9	0.012	1.25	-0.51
Высота пятки (Foot angle)	4.9	0.014	1.42	-0.68
Постановка задних ног (вид сзади) (Rear legs rear view)	5.1	0.011	1.17	-0.69

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Прикрепление передних долей (Fore udder attachment.)	6.2	0.012	1.25	-0.50
Высота задних долей (Rear udder height)	6.7	0.009	0.95	-0.03
Центральная связка (Central ligament)	5.7	0.012	1.26	-0.18
Глубина вымени (Udder depth)	6.5	0.010	1.05	1.11
Расположение передних сосков (Front teat placement)	4.5	0.010	1.06	-0.06
Длина сосков (Teat length)	5.0	0.012	1.28	-0.35
Крепость телосложения (Chest width)	5.5	0.011	1.16	-0.35
Молочный тип (Angularity)	6.2	0.010	0.98	-0.13
Длина передних долей (Length udder attachment)	5.5	0.011	1.11	-0.16
Скакательный сустав (вид сзади) (Hock development)	4.5	0.011	1.16	0.01

Примечание: $\bar{M}$ – среднее значение, $\pm m$ – ошибка среднего значения, σ – стандартное отклонение; kurtosis – коэффициент эксцесса; * – приведены оценки статей экстерьерера по линейной системе «Б».

Дочери изучаемых производителей черно-пестрой породы обладают достаточно неплохими показателями молочной продуктивности, при удое за 1-ю лактацию 7142,8 кг молока с содержанием белка и жира 3,25 и 4,10% соответственно. Животные имеют выраженный молочный тип, хорошую глубину туловища и признаки, касающиеся вымени, при этом признаки конечностей отличаются удовлетворительными оценками. Относительно же признаков фертильности, то первотелки имеют удлиненный сервис-период 166,7 и межотельный период 442,9 дней. Они отличаются и большей изменчивостью, если обратить внимание на стандартное отклонение и коэффициент эксцесса.

Касаемо коэффициента наследуемости (h^2), то здесь видно следующее, признаки фертильности и молочной продуктивности обладают низкими значениями. Среди них выделяется содержание белка ($h^2 = 0,17$) и возраст 1-ого плодотворного осеменения ($h^2 = 0,18$) (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициент наследуемости хозяйственно-полезных признаков

Table 2 – The coefficient of heritability of economically useful traits

Признаки (Traits)	h^2	Sh^2
	Молочная продуктивность (Milk production)	
1	2	3
Удой за первую лактацию (Milk yield for first lactation)	0.11	0.02
Содержание жира, % (Milk fat percent)	0.13	0.02
Содержание белка, % (Milk protein percent)	0.17	0.02
Фертильность (Fertility)		
Возраст 1-ого плодотв. осем. (Age at first fertile insemination)	0.18	0.02
Живая масса при 1-ом плодотв. осем. (Live weight at the first fruitful insemination)	0.10	0.02
Количество осеменений (Quantity of inseminations)	0.03	0.01
Сервис-период (Days out)	0.04	0.01
Межотельный период (Intercalving period)	0.04	0.01
Экстерьер (Exterior)		
Высота в крестце (Stature)	0.21	0.03
Глубина туловища (Body depth)	0.15	0.02
Положение зада (Rump angle)	0.22	0.03
Ширина зада (Rump width)	0.11	0.02
Угол задних ног (вид сбоку) (Rear legs set)	0.10	0.02

Окончание таблицы 2

1	2	3
Высота пятки (Foot angle)	0.06	0.01
Постановка задних ног (вид сзади) (Rear legs rear view)	0.09	0.02
Прикрепление передних долей (Fore udder attachment.)	0.08	0.02
Высота задних долей (Rear udder height)	0.08	0.02
Центральная связка (Central ligament)	0.11	0.02
Глубина вымени (Udder depth)	0.16	0.02
Расположение передних сосков (Front teat placement)	0.13	0.02
Длина сосков (Teat length)	0.21	0.03
Крепость телосложения (Chest width)	0.08	0.02
Молочный тип (Angularity)	0.19	0.02
Длина передних долей (Length udder attachment)	0.05	0.01
Скакательный сустав (вид сзади) (Hock development)	0.08	0.02

Относительно же признаков экстерьера, то они также не отличаются высоким уровнем. Только высота в крестце, положение зада, длина сосков и молочный тип имеет более высокие значения ($h^2=0,19-0,22$).

Необходимо обратить внимание также на характер генетической связи исследуемых признаков молочной продуктивности, фертильности и экстерьера (рисунок 1).

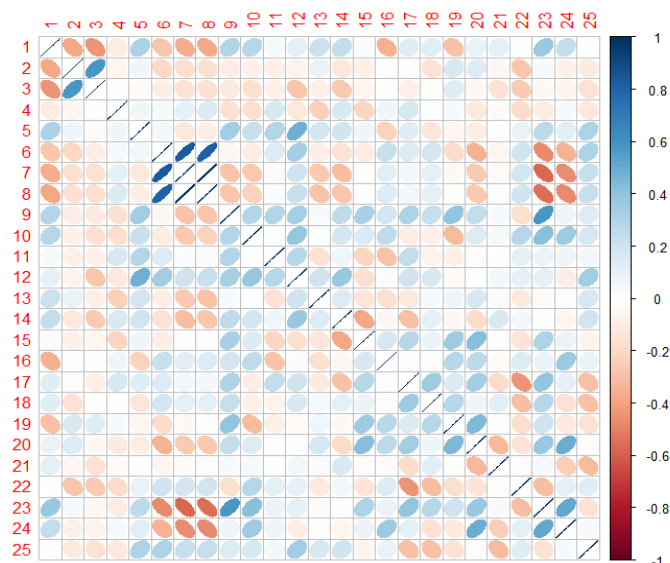


Рисунок 1 – Тепловая карта генетических корреляций
Picture 1 – Thermal map of genetic correlations

Примечание (Note): x_1 – удой за первую лактацию (Milk yield for first lactation); x_2 – содержание жира (Milk fat percent); x_3 – содержание белка (Milk protein percent); x_4 – возраст 1-ого плодотворного осеменения (Age at first fertile insemination); x_5 – живая масса при 1-ом плодотворном осеменении (Live weight at the first fruitful insemination); x_6 – количество осеменений (Quantity of inseminations); x_7 – сервис-период (Days out); x_8 – межотельный период (Intercalving period); x_9 – высота в крестце (Stature); x_{10} – глубина туловища (Body depth); x_{11} – положение зада (Rump angle); x_{12} – ширина зада (Rump width); x_{13} – угол задних ног (вид сбоку) (Rear legs set); x_{14} – высота пятки (Foot angle); x_{15} – постановка задних ног (вид сзади) (Rear legs rear view); x_{16} – прикрепление передних долей (Fore udder attachment.); x_{17} – высота задних долей (Rear udder height); x_{18} – центральная связка (Central ligament); x_{19} – глубина вымени (Udder depth); x_{20} – расположение передних сосков (Front teat placement); x_{21} – длина (Teat length); x_{22} – крепость телосложения (Chest width); x_{23} – молочный тип (Angularity); x_{24} – длина передних долей (Length udder attachment); x_{25} – скакательный сустав (вид сзади) (Hock development).

Из данных тепловой карты (коррелогограммы) видно, что удой за первую лактацию имеет отрицательную корреляцию с содержанием жира и белка ($r = -0,382 \dots -0,448$). При этом они обладают положительной связью между собой ($r = 0,584$). Из всех исследуемых признаков наибольшей корреляционной связью между собой обладали такие признаки воспроизводства, как количество осеменений / сервис-период и межотельный период ($r = 0,8-0,9$). Такая же закономерность у них отмечена и по фенотипическим корреляциям. Установлена также их отрицательная связь с молочным типом ($r = -0,471 \dots -0,573$). Что касается экстерьера, то признаки здесь характеризуются средней, слабо отрицательной или положительной связью как между собой, так и с признаками молочной продуктивности и фертильности. Фенотипические же корреляции представляют слабые положительные и отрицательные связи.

Основа теории расчета селекционного индекса представляет собой обобщенную племенную оценку животных по совокупному комплексу исследуемых признаков. В этом случае субиндексы представляют частные показатели каждого из исследуемых признаков, они представляют из себя оценки каждого из признаков, основываясь на фенотипических и генетических ковариансах (таблица 3).

Степень важности аргументов уравнений зависит от значений весовых коэффициентов субиндексов.

Неодинаковая степень изменчивости признаков молочной продуктивности, фертильности и экстерьера быков-производителей черно-пестрой породы, а также неоднородная степень их связи характеризует различное информативное представление исследуемых признаков популяции.

Таблица 3 – Уравнения субиндексов хозяйственно-биологических признаков быков
черно-пестрой породы

Table 3 – Equations of subindexes of economic and biological characteristics of
black-and-white sires

Веса (Weights)	Показатели (Traits)	Уравнение субиндекса (Subindex equation)
1	2	3
Пример 1 (Example 1)		
33.3	Молочная продуктивность (Milk production)	$I_1 = -0.012x_1 + 0.127x_2 + 0.451x_3$
33.3	Фертильность (Fertility)	$I_2 = 0.276x_4 - 0.113x_5 - 0.370x_6 - 0.038x_7 + 0.039x_8$
33.3	Экстерьер (Exterior)	$I_3 = -0.501x_9 - 0.969x_{10} + 0.252x_{11} + 0.816x_{12} - 0.299x_{13} - 0.991x_{14} - 0.527x_{15} + 0.394x_{16} - 0.312x_{17} + 0.269x_{18} + 0.348x_{19} - 0.214x_{20} - 0.158x_{21} + 0.361x_{22} - 0.563x_{23} + 0.839x_{24} + 0.425x_{25}$
Пример 2 (Example 2)		
50	Молочная продуктивность (Milk production)	$I_1 = -0.017x_1 + 0.194x_2 + 0.683x_3$
25	Фертильность (Fertility)	$I_2 = 0.411x_4 - 0.17x_5 - 0.568x_6 - 0.059x_7 + 0.06x_8$
25	Экстерьер (Exterior)	$I_3 = -0.745x_9 - 0.142x_{10} + 0.359x_{11} + 0.114x_{12} - 0.445x_{13} - 0.145x_{14} - 0.792x_{15} + 0.587x_{16} - 0.469x_{17} + 0.347x_{18} + 0.526x_{19} - 0.314x_{20} - 0.235x_{21} + 0.521x_{22} - 0.829x_{23} + 0.318x_{24} + 0.592x_{25}$
Пример 3 (Example 3)		
25	Молочная продуктивность (Milk production)	$I_1 = -0.009x_1 + 0.942x_2 + 0.335x_3$

Окончание таблицы 3

1	2	3
50	Фертильность (Fertility)	$I_2 = 0.213x_4 - 0.086x_5 - 0.266x_6 - 0.026x_7 + 0.028x_8$
25	Экстерьер (Exterior)	$I_3 = -0.385x_9 - 0.767x_{10} + 0.209x_{11} + 0.692x_{12} - 0.231x_{13} - 0.780x_{14} - 0.397x_{15} + 0.299x_{16} - 0.233x_{17} + 0.260x_{18} + 0.258x_{19} - 0.168x_{20} - 0.120x_{21} + 0.293x_{22} - 0.439x_{23} + 0.573x_{24} + 0.364x_{25}$
Пример 4 (Example 4)		
25	Молочная продуктивность (Milk production)	$I_1 = -0.009x_1 + 0.960x_2 + 0.339x_3$
25	Фертильность (Fertility)	$I_2 = 0.208x_4 - 0.085x_5 - 0.277x_6 - 0.029x_7 + 0.030x_8$
50	Экстерьер (Exterior)	$I_3 = -0.376x_9 - 0.726x_{10} + 0.190x_{11} + 0.614x_{12} - 0.225x_{13} - 0.744x_{14} - 0.393x_{15} + 0.295x_{16} - 0.234x_{17} + 0.203x_{18} + 0.261x_{19} - 0.160x_{20} - 0.119x_{21} + 0.270x_{22} - 0.422x_{23} + 0.631x_{24} + 0.320x_{25}$

Примечание (Note): x – оценка EBV признака (trait EBV score); x_1 – удой за первую лактацию (Milk yield for first lactation); x_2 – содержание жира (Milk fat percent); x_3 – содержание белка (Milk protein percent); x_4 – возраст 1-ого плодотворного осеменения (Age at first fertile insemination); x_5 – живая масса при 1-ом плодотворном осеменении (Live weight at the first fruitful insemination); x_6 – количество осеменений (Quantity of inseminations); x_7 – сервис-период (Days out); x_8 – межотельный период (Intercalving period); x_9 – высота в крестце (Stature); x_{10} – глубина туловища (Body depth); x_{11} – положение зада (Rump angle); x_{12} – ширина зада (Rump width); x_{13} – угол задних ног (вид сбоку) (Rear legs set); x_{14} – высота пятки (Foot angle); x_{15} – постановка задних ног (вид сзади) (Rear legs rear view); x_{16} – прикрепление передних долей (Fore udder attachment.); x_{17} – высота задних долей (Rear udder height); x_{18} – центральная связка (Central ligament); x_{19} – глубина вымени (Udder depth); x_{20} – расположение передних сосков (Front teat placement); x_{21} – длина (Teat length); x_{22} – крепость телосложения (Chest width); x_{23} – молочный тип (Angularity); x_{24} – длина передних долей (Length udder attachment); x_{25} – скакательный сустав (вид сзади) (Hock development).

При определении весовых коэффициентов субиндексов для общего уравнения индекса изучаемых признаков, нами выбран был следующий принцип: хозяйственно-полезные признаки делились на три группы: 1) Молочная продуктивность – включает в себя удой за первую лактацию, содержание жира и белка; 2) Признаки фертильности – возраст 1-ого плодотворного осеменения, живая масса при 1-ом плодотворном осеменении, количество осеменений, сервис-период и межотельный период; 3) Признаки экстерьера – высота в крестце, глубина туловища, положение зада, ширина зада, угол задних ног (вид сбоку), высота пятки, постановка задних ног (вид сзади), прикрепление передних долей, высота задних долей, центральная связка, глубина вымени, расположение передних сосков, длина сосков, крепость телосложения, молочный тип, длина передних долей, скакательный сустав (вид сзади). При этом мы опирались на следующий принцип: в первом примере – по 0,333 (33,3%) отдали каждой группе признаков (молочной продуктивности, фертильности и экстерьера), во втором – 0,5 (50%) молочной продуктивности и по 0,25 (25%) фертильности и экстерьеру; в третьем – 0,5 (50%) фертильности и 0,25 (25%) молочной продуктивности и экстерьеру и в четвертом примере – 0,5 (50%) экстерьеру и 0,25 (25%) молочной продуктивности и фертильности.

Рассчитанные значения аргументов мы представили через общую модель селекционного индекса:

Пример 1. (33,3/ 33,3/ 33,3) $I_{TOT} = 0,333I_1 + 0,333I_2 + 0,333I_3 = -0.012x_1 + 0.127x_2 + 0.451x_3 + 0.276x_4 - 0.113x_5 - 0.370x_6 - 0.038x_7 + 0.039x_8 - 0.501x_9 - 0.969x_{10} + 0.252x_{11} + 0.816x_{12} - 0.299x_{13} - 0.991x_{14} - 0.527x_{15} + 0.394x_{16} - 0.312x_{17} + 0.269x_{18} + 0.348x_{19} - 0.214x_{20} - 0.158x_{21} + 0.361x_{22} - 0.563x_{23} + 0.839x_{24} + 0.425x_{25}$.

Пример 2. (50/ 25/ 25) $I_{TOT} = 0,50I_1 + 0,25I_2 + 0,25I_3 = -0.017x_1 + 0.194x_2 + 0.683x_3 + 0.411x_4 - 0.17x_5 - 0.568x_6 - 0.059x_7 + 0.06x_8 - 0.745x_9 - 0.142x_{10} + 0.359x_{11} + 0.114x_{12} - 0.445x_{13} - 0.145x_{14} - 0.792x_{15} + 0.587x_{16} - 0.469x_{17} + 0.347x_{18} + 0.526x_{19} - 0.314x_{20} - 0.235x_{21} + 0.521x_{22} - 0.829x_{23} + 0.318x_{24} + 0.592x_{25}$.

Пример 3. (25/ 50/ 25) $I_{TOT} = 0,25I_1 + 0,50I_2 + 0,25I_3 = -0.009x_1 + 0.942x_2 + 0.335x_3 + 0.213x_4 - 0.086x_5 - 0.266x_6 - 0.026x_7 + 0.028x_8 - 0.385x_9 - 0.767x_{10} + 0.209x_{11} + 0.692x_{12} - 0.231x_{13} - 0.780x_{14} - 0.397x_{15} + 0.299x_{16} - 0.233x_{17} + 0.260x_{18} + 0.258x_{19} - 0.168x_{20} - 0.120x_{21} + 0.293x_{22} - 0.439x_{23} + 0.573x_{24} + 0.364x_{25}$.

Пример 4. (25/ 25/ 50) $I_{TOT} = 0,25I_1 + 0,25I_2 + 0,50I_3 = -0.009x_1 + 0.960x_2 + 0.339x_3 + 0.208x_4 - 0.085x_5 - 0.277x_6 - 0.029x_7 + 0.030x_8 - 0.376x_9 - 0.726x_{10} + 0.190x_{11} + 0.614x_{12} - 0.225x_{13} - 0.744x_{14} - 0.393x_{15} + 0.295x_{16} - 0.234x_{17} + 0.203x_{18} + 0.261x_{19} - 0.160x_{20} - 0.119x_{21} + 0.270x_{22} - 0.422x_{23} + 0.631x_{24} + 0.320x_{25}$.

В таблице 4 показаны 10 лучших и худших быков черно-пестрой породы на основе полученного селекционного индекса.

Таблица 4 – 10 лучших и худших быков черно-пестрой породы в зависимости от селекционного индекса

Table 4 – 10 the best and worst black-and-white sires depending on the breeding index

№ Быка (Sire)	1*	2	3	4
1	2	3	4	5
10 лучших (10 best)				
798	148.0	176.6	134.9	138.1
655	143.9	151.7	131.5	132.0
797	147.4	154.5	137.9	139.0
599	158.3	169.5	142.8	143.8
795	145.2	155.5	139.2	140.1
554	156.1	190.8	138.4	141.3
753	149.6	155.8	134.3	134.7
779	151.5	173.6	139.0	140.6
624	150.2	177.2	141.0	142.7
661	145.3	146.1	132.7	133.1
10 худших (10 worst)				
571	41.4	13.5	60.8	59.0
814	62.4	52.7	70.1	69.3
878	45.3	24.4	60.6	58.8
853	52.2	25.7	58.2	57.3
711	60.4	51.0	69.2	67.8
747	40.0	31.9	60.9	60.2
267	30.0	8.6	35.6	33.4
638	34.8	20.3	50.0	48.2
686	52.4	49.3	67.6	67.0
716	35.1	23.0	54.0	52.0

Примечание (Note): * 1 – (33,3 / 33,3 / 33,3%); 2 – (50 / 25 / 25%); 3 – (25 / 50 / 25%); 4 – (25 / 25 / 50%).

Если обратить внимание на таблицу 4, то мы видим, что с изменением доли весовых коэффициентов наблюдается изменение показателей селекционного индекса (ETI). Наивысшие и наименьшие значения наблюдаются во втором столбце, где на долю молочной продуктивности отведено 0,5 (50%) из селекционного веса.

Выводы. Достижение максимального селекционного эффекта можно достичь используя совокупную информацию по селекционным признакам, что можно получить при использовании селекционного индекса. И так как селекционный индекс в данном случае подразумевает оценку производителей, то в дальнейшем следовало бы посредством селекционного индекса оценить племенную ценность самих дочерей.

Conclusions. From the above, we can draw the following conclusions: the achievement of the maximum selection effect can be achieved using the cumulative information on selection characteristics, which can be obtained using the selection index. And since the selection index in this case implies the assessment of producers, in the future it would be necessary to assess the tribal value of the daughters themselves through the selection index.

Благодарности

Выражаем благодарность в предоставлении данных специалистам АО «Московское» по племенной работе. Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 0445-2021-0016.

Acknowledgements

We express our gratitude in providing these to the specialists of JSC Moskovskoe for tribal work. The research was carried out within the framework of the State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 0445-2021-0016.

Библиографический список

1. Сермягин, А. А., Гладырь Е. А., Романенкова О. С., Зиновьева Н. А. Современные технологии генетического совершенствования молочного крупного рогатого скота. Племенная работа в животноводстве Московской области и г. Москвы (2015). М.: ОАО «Московское» по племенной работе», 2016. 84 с.
2. Мельникова Е. Е., Янчуков И. Н., Ермилов А. Н., Зиновьева Н. А., Осадчая О. Ю., Харитонов С. Н. Селекционный индекс племенной ценности коров популяции черно-пестрого скота Московской области. Известия ТСХА. 2017. Вып. 1. С. 85-97.
3. Баранова Н. С., Величко И. И. Использование селекционных индексов при комплексной оценке быков-производителей костромской породы. Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8846>.
4. Янчуков И. Н., Сермягин А. А., Мельникова Е. Е., Немчинова М. В., Харитонов С. Н. Комплексная оценка молочного скота на основе селекционного индекса. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2017. № 20-1. С. 13-21.
5. Сермягин А. А., Янчуков И. Н., Мельникова Е. Е., Харитонов С. Н., Некрасов Р. В. Сравнительная характеристика стад крупного рогатого скота на основе оценки племенной ценности коров методом BLUP ANIMAL MODEL. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 160-167.
6. Харитонов С. Н., Мельникова Е. Е., Алтухова Н. С., Пыжов А. П., Лашнева И. А., Осадчая О. Ю., Сермягин А. А. Племенная ценность быков-производителей по комплексу показателей молочной продуктивности их дочерей. Известия ТСХА. 2019. Выпуск 4. С. 77-87.
7. Abdollahi-Arpanahi R., Lourenco D., Misztal I. Detecting effective starting point of genomic selection by divergent trends from best linear unbiased prediction and single-step genomic best linear unbiased prediction in pigs, beef cattle, and broilers. Journal of Animal Science. Vol. 99. Iss. 9. Pp. 1-11. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8420679/pdf/skab243.pdf>.
8. Kodak O., István N. Historical overview of the selection indices applied in pig breeding. Acta Agraria Kaposváriensis. 2019. Vol 23. No 1. Pp. 22–31. http://real.mtak.hu/106236/1/2294-Kodak_Nagy.pdf.
9. Контэ А. Ф., Янчуков И. Н., Сермягин А. А., Бычкунова Н. Г. Оценка племенной ценности быков популяции черно-пестрого скота Московской области по типу телосложения их дочерей. Известия НВ АУК. № 3. 2019. С. 275-283.
10. Контэ А. Ф., Ермилов А. Н., Сермягин А. А. Оценка динамики генетической изменчивости для показателей типа телосложения коров-первотелок голштинизированной черно-пестрой породы Подмосковья. Вестник КрасГАУ. 2020. № 8. С. 69-78.

11. Godinho R. M., Bergsma R., Silva F. F., Sevillano C. A., Knol E. F., Lopes M. S. et al. Genetic Correlations between Feed Efficiency Traits, and Growth Performance and Carcass Traits in Purebred and Crossbred Pigs. *J. Anim. Sci.* 96. Pp. 817–829.

References

1. Sermyagin A. A., Gladyr E. A., Romanenkova O. S., Zinovieva N. A. Modern technologies of genetic improvement of dairy cattle. Breeding work in animal husbandry in the Moscow region and Moscow (2015). M.: OAO Moskovskoye for breeding work, 2016. 84 p.

2. Melnikova E. E., Yanchukov I. N., Ermilov A. N., Zinovieva N. A., Osadchaya O. Yu., Kharitonov S. N. Selection index for cow breeding value in black and white population of dairy cattle in Moscow region. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017. No 1. Pp. 85-97.

3. Baranova N. S., Velichko I. I. The use of selection indexes in the complex evaluation of the kostroma breed stud bulls. *Modern problems of science and education*. 2013. № 2. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8846>.

4. Yanchukov I. N., Sermyagin A. A., Melnikova E. E., Nemchinova M. V., Kharitonov S. N. Comprehensive assessment of dairy cattle based on the selection index. *Actual problems of intensive development of animal husbandry*. 2017. No 20-1. Pp. 13-21.

5. Sermyagin A. A., Yanchukov I. N., Melnikova E. E., Kharitonov S. N., Nekrasov R. V. Comparative study of cattle herds for genetic level based on cows' breeding value by the BLUP animal model method. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018. № 9. Pp. 160-167.

6. Kharitonov S. N., Melnikova E. E., Altukhova N. S., Pyzhov A. P., Lashneva I. A., Osadchaya O. Yu., Sermyagin A. A. Estimating breeding value of bull sires based on complex indicators of their daughters' lactation performance. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019. No 4. P. 77-87.

7. Abdollahi-Arpanahi R., Lourenco D., Misztal I. Detecting effective starting point of genomic selection by divergent trends from best linear unbiased prediction and single-step genomic best linear unbiased prediction in pigs, beef cattle, and broilers. *Journal of Animal Science*. Vol. 99. Iss. 9. Pp. 1-11. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8420679/pdf/skab243.pdf>.

8. Kodak O., István N. Historical overview of the selection indices applied in pig breeding. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 2019. Vol 23. No 1. Pp. 22–31. http://real.mtak.hu/106236/1/2294-Kodak_Nagy.pdf.

9. Konte A. F., Yanchukov I. N., Sermyagin A. A., Bychkunova N. G. Evaluation of a tribal value of bulls-producers of the population of black-milled cattle of Moscow region by type of bodies of cow's daughters. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. № 3. 2019. Pp. 275-283.

10. Conte A. F., Ermilov A. N., Sermyagin A. A. The estimation of the dynamics of genetic variability for the indicators of the body type of 1-st calf cows of holstein black-and-motley breed of Moscow region. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020. № 8. Pp. 69-78.

11. Godinho R. M., Bergsma R., Silva F. F., Sevillano C. A., Knol E. F., Lopes M. S., et al. Genetic Correlations between Feed Efficiency Traits, and Growth Performance and Carcass Traits in Purebred and Crossbred Pigs. *J. Anim. Sci.* 96. Pp. 817–829.

Информация об авторах

Контэ Александр Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0003-4877-0883, e-mail: alexandrconte@yandex.ru

Недашковский Игорь Сергеевич, младший научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, Городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0003-0487-4576, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Сермягин Александр Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, Московская область, 142132, Городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0002-1799-6014, e-mail: alex_sermyagin85@mail.ru

Author's Information

Konte Aleksandr Fedorovich, candidate of agricultural sciences, scientific researcher of population genetics and animal breeding department, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID 0000-0003-4877-0883, e-mail: alexandrconte@yandex.ru

Nedashkovsky Igor Sergeevich, junior researcher of population genetics and animal breeding department, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID 0000-0003-0487-4576, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Sermyagin Aleksandr Aleksandrovich, candidate of agricultural sciences, head of population genetics and animal breeding department, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID 0000-0002-1799-6014, e-mail: alex_sermyagin85@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-30

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF SILA-PRIME PRESERVATIVE AND THE ADDITION OF FIREWEED ON THE SILOS CAPACITY OF ALFALFA CHANGEABLE

**B. N. Starkovsky¹, A. T. Varakin², G. A. Simonov³, S. V. Terebova⁴,
A. G. Simonov⁵, E. S. Vorontsova²**

¹*Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin
Vologda, Russian Federation*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

³*All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the federal state budgetary scientific institution "Federal scientific center for hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov"
Volgograd, Russian Federation*

⁴*Vologda scientific center of the Russian Academy of Sciences
Vologda, Russian Federation*

⁵*Peoples' Friendship University of Russia
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bor.2076@yandex.ru

Received 09.10.2023

Submitted 05.12.2023

Summary

The article presents the results of silage of variable alfalfa with the addition of the biological preservative SILA-PRIME in the first variant and only the addition of fireweed (*Chamerion anqustifolium* L.) in a dose of 15% by weight of alfalfa in the second variant. As a control option, alfalfa silage was taken in its pure form without additives. The research was carried out in the conditions of the North-Western region of Russia in the Vologda region. A positive effect on the silage capacity of alfalfa of both additives separately was noted. It was revealed that the addition of fireweed in comparison with the option with the addition of only a preservative to the silage mass allows you to get a feed of the best quality in terms of nutritional content – protein content of 17.7%, the output of metabolic energy of 10.6 MJ / kg of dry matter.

Abstract

Introduction. The basis for keeping highly productive animals is the availability of feed that meets the quality requirements. The productivity of animals largely depends on the level and usefulness of feeding. An important circumstance should also be considered the economic component of the feed received, namely their cost. The use of chemical, biological preparations or without them affects the quality of the feed received and the final price of livestock products. **Object.** The object of research was alfalfa silos. **Materials and methods.** The research was carried out at the pilot site of the Vologda GMHA and in the SEC (collective farm) "Nikolotorzhsky" of the Kirillovsky district of the Vologda region. Chemical analyses of the obtained feeds were carried out according to generally accepted

methods in the North-Western Research Institute of Dairy and Grassland Farming Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences **Results and conclusions.** The studied samples of alfalfa silage differed in the content of organic acids. The mass fraction of lactic acid in alfalfa silos was 41.7%, and was minimal in comparison with other silos. The maximum index of 77.9% of the proportion of lactic acid in the total amount of organic acids was recorded in alfalfa silos with the addition of fireweed (*Chamerion anqustifolium* L.) 15% of the weight of alfalfa, while there was no oily acid. Alfalfa silos with SILA-PRIME bioconservant had a proportion of 62.3% lactic acid and was of good quality, as was silos with the addition of fireweed. Alfalfa silos in its pure form without additives had a pH of 4.96 and was of poor quality. In terms of feed value, the feed with the addition of fireweed was the best in terms of the content of exchange energy of 10.6 MJ /kg of dry matter. Therefore, we believe that the addition of fireweed in a dose of 15% by weight of alfalfa during its silos is economically feasible.

Key words: green mass of alfalfa, bioconservants, fodder value of alfalfa, firewood (Ivan tea), silage quality.

Citation. Starkovsky B. N., Varakin A. T., Simonov G. A., Terebova S. V., Simonov A. G., Vorontsova E. S. Comparative analysis of the effect of SILA-PRIME preservative and the addition of fireweed on the silos capacity of alfalfa changeable. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4 (72). 291-299 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-30.

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 633.2:582.886

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСЕРВАНТА SILA-PRIME И ДОБАВКИ КИПРЕЯ УЗКОЛИСТНОГО НА СИЛОСУЕМОСТЬ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ

Б. Н. Старковский¹, кандидат сельскохозяйственных наук, докторант

А. Т. Варакин², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Г. А. Симонов³, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

С. В. Теребова⁴, доктор экономических наук, доцент

А. Г. Симонов⁵, кандидат экономических наук, доцент

Е. С. Воронцова², кандидат биологических наук

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина

г. Вологда, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

³Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ

«Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

г. Волгоград, Российская Федерация

⁴Вологодский научный центр Российской академии наук

г. Вологда, Российская Федерация

⁵Российский университет дружбы народов

г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Основой содержания высокопродуктивных животных является наличие кормов, отвечающих требованиям качества. От уровня и полноценности кормления в значительной степени зависит продуктивность животных. Важным обстоятельством следует считать и экономическую составляющую получаемых кормов, а именно их себестоимость. Применение химических, биологических препаратов или без них, сказывается на качестве получаемого корма и на конечной цене животноводческой продукции. **Объект.** Объектом исследований являлся силос из люцерны. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном участке Вологодской ГМХА и в СПК (колхоз) «Николоторжский» Кирилловского района Вологодской области. Химические анализы полученных кормов проведены согласно общепринятым методи-

кам в СЗНИИМЛПХ обособленном подразделении ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук». **Результаты и выводы.** Исследованные образцы силоса из люцерны отличались по содержанию органических кислот. Массовая доля молочной кислоты в силосе из люцерны составила 41,7 % и была минимальной в сравнении с другими силосами. Максимальный показатель 77,9% доли молочной кислоты, в общей сумме органических кислот, зафиксирован в силосе из люцерны с добавкой кипрея 15 % от массы люцерны, при этом масляная кислота отсутствовала. Силос из люцерны с биоконсервантом SILA-PRIME имел долю молочной кислоты 62,3 % и был хорошего качества, как и силос с добавкой кипрея. Силос из люцерны в чистом виде без добавок имел рН 4,96 и был плохого качества. По показателям кормовой ценности корм с добавкой кипрея был лучшим по содержанию обменной энергии 10,6 МДж/кг сухого вещества. Поэтому считаем, что добавка кипрея в дозе 15 % от массы люцерны при её силосовании экономически целесообразна.

Ключевые слова: зелёная масса люцерны, биоконсерванты, кормовая ценность люцерны, кипрей (иван-чай), качество силоса.

Цитирование. Старковский Б. Н., Варакин А. Т., Симонов Г. А., Теребова С. В., Симонов А. Г., Воронцова Е. С. Сравнительный анализ влияния консерванта SILA-PRIME и добавки кипрея узколистного на силосуемость люцерны изменчивой. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 291-299. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-30.

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 настоящее время кормопроизводство в нашей стране вступает в новый этап своего развития, связанный с энергосбережением, экологизацией производства, интенсивным развитием биотехнологий в селекции растений. Внедрение в производство новых кормовых культур, отвечающих запросам производства, и использование их, наравне с традиционными, является важной составляющей этого процесса и способствует росту производства кормов и повышению их качества. От качества корма зависит обеспеченность его энергией и содержание в нём необходимых для животного биологических составляющих (протеина, витаминов, аминокислот и др.) [6, 8, 14, 19, 23]. Корма хорошего качества снижают затраты животного на процессы переваривания, позволяя направить эту энергию на элементы продуктивности. Необходимость в применении интенсивных технологий в получении качественных кормов, их хранении и грамотном скормливании являются сегодня важнейшими задачами. Если в хозяйстве имеется достаточное количество объёмистых кормов требуемого качества, это позволяет снизить долю концентрированных кормов в рационах, что положительно сказывается на организме животных и себестоимости получаемой продукции [3, 11, 13, 21]. Особенно это актуально для Северо-Западного региона России с традиционно развитым молочным животноводством [15, 18, 22].

Необходимо отметить, что силос является основным видом корма в рационах скота. О его значении в кормлении животных говорится во многих работах [2, 17, 20, 21]. Технология приготовления этого вида корма заключается в создании благоприятных условий для прохождения молочнокислого брожения – биохимического способа консервирования. Не все ценные в кормовом отношении растения относятся к категории легкосилосуемых из-за низкого сахаропротеинового соотношения исходной зелёной массы. Например, люцерна изменчивая обладает комплексом хозяйственно-полезных свойств и является высокопитательным кормовым растением, однако в чистом виде из неё приготовить силос не представляется возможным, поэтому необходимо изыскать более рациональный способ приготовления силоса из данной культуры с использованием дополнительных компонентов.

Корма высокого качества позволяют лучше сбалансировать рационы животных по всем питательным и биологически активным веществам, что положительно влияет на их здоровье [1, 5, 17], продуктивность и качество получаемой от них продукции [4, 7, 9, 12, 16, 24, 25].

Целью наших исследований была оценка качества силоса, приготовленного из люцерны с использованием биоконсерванта, а также силоса люцерны, приготовленного с добавкой зелёной массы кипрея узколистного.

В задачу исследования входило:

- определить химический состав приготовленных силосов;
- оценить показатели кормовой ценности силоса изучаемых вариантов;
- на основании полученных данных в опыте более объективно оценить силоса для кормления животных.

В качестве решения проблемы силосуемости люцерны нами были изучены два варианта:

1. Силосование с биоконсервантом SILA-PRIME;
2. Силосование с добавкой зелёной массы кипрея узколистного (иван-чая).

Биоконсервант представляет собой поликультуру из семи штаммов взаимодополняющих бактерий (*Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus pentosaceus*, *Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis*, *Dried Aspergillus oryzae* и *Bacillus subtilis*) – производитель СП «ФА-УН» ООО (Белоруссия).

Зелёная масса кипрея узколистного (иван-чая) *Chamerion anqustifolium* (L.) Holub в фазу цветения в сухом веществе содержит: протеина до 18,3 %, жира 4,9 %, крахмала 2,0 %, сахара до 10 %, а также другие вещества. Следует отметить, что он хорошо силосуется в чистом виде [18].

Материалы и методы. Объектами исследований были образцы силоса из люцерны изменчивой в чистом виде и с добавками биоконсерванта и кипрея. Исследования проводились на опытном участке Вологодской ГМХА и в СПК (колхоз) «Николоторжский» Кирилловского района Вологодской области. Химические анализы полученных кормов были проведены согласно общепринятым методикам в СЗНИИМЛПХ обособленном подразделении ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук».

Опыты проводили в трёхкратной повторности. Растения кипрея (иван-чая) узколистного на момент силосования люцерны находились в фазе цветения, растения люцерны изменчивой в фазе бутонизации – начало цветения.

Силосование растений проводили в соотношении:

Люцерна изменчивая	Кипрей узколистный
100%	-
85%	15%

Данное соотношение следует считать минимально необходимым для успешного силосования люцерны [17].

Оценку на соответствие показателей качества проводили согласно действующему ГОСТ Р 55986-2022 Силос и силаж. Общие технические условия.

Результаты и обсуждение. В настоящее время показатели химического состава корма являются главными при оценке их питательности и биологической полноценности.

Нами проведена сравнительная оценка химического состава и питательной ценности силоса в изучаемых вариантах:

1. Люцерна изменчивая в чистом виде (контроль);
2. Люцерна изменчивая + биоконсервант;
3. Люцерна изменчивая + добавка кипрея узколистного.

Показатели кормовой ценности силоса из люцерны в чистом виде взяты усреднённые по опытам на опытном участке Вологодской ГМХА и в СПК (колхоз) «Николоторжский» Кирилловского района Вологодской области.

Качественный состав силоса из бобовой травы в чистоте, с добавкой иван-чая и с консервантом, определяли на 110 день после закладки силоса. Результат представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание органических кислот в силосах из люцерны (среднее за 2019-2021 гг.)
Table 1 – The content of organic acids in alfalfa silos (average for 2019 – 2021)

Варианты	рН	Сумма органических кислот, % от сухого вещества	Содержание органических кислот, в сухом веществе (в %)			Массовая доля молочной кислоты
			уксусная	масляная	молочная	
Люцерна изменчивая 100%	4,96	3,55	0,93	1,14	1,48	41,7
Люцерна + биоконсервант	4,11	2,52	0,88	0,07	1,57	62,3
Люцерна 85% Кипрей 15%	4,45	2,80	0,62	0,00	2,18	77,9

В силосуемой массе люцерны в чистом виде присутствовали все виды органических кислот. Доля молочной кислоты не превышала 46 % в опытах и в среднем составила 41,7 %, органолептические показатели были неудовлетворительные. Высокий уровень рН силоса из люцерны объясняется интенсивными процессами протеолиза (распада белка), сопровождающими накоплением в силосе большого количества аммиака [10].

Корм из люцерны, приготовленный с биоконсервантом SILA-PRIME, был хорошего качества, что подтверждают его органолептическая оценка и содержание органических кислот 62,3 %. Бактерии, входящие в состав консерванта, способствовали процессу накопления в необходимом количестве молочной кислоты и препятствовали образованию масляной кислоты, доля которой не превышала 0,07 % [15].

Количество молочной кислоты, как главной составляющей процесса брожения, за годы исследований было максимальным в 3 варианте с кипреем. Масляная кислота отсутствовала, Силос по органолептическим показателям соответствовал требованиям 1 класса. Значение рН 4,45 по требованию стандарта следовало бы отнести к 3 классу, но так как силос по остальным показателям соответствовал требованиям 1 класса, то мы предполагаем, что кипрей обладает фитоконсервирующими достоинствами, ввиду чего силос получается хорошего качества.

Для определения кормовых достоинств изучаемых силосов провели анализ на содержание обменной энергии, золы, протеина, клетчатки и жира.

Результаты анализа представлены в таблице 2.

Показатели кормовой ценности свидетельствуют, что силос с добавкой кипрея по содержанию обменной энергии 10,6 МДж/кг превосходил исследуемые варианты. Возможно, это связано с тем, что в кипрее содержатся вещества, ингибирующие действия ферментов, разрушающих белковые соединения, а наличие сахаров способствует быстрому развитию молочнокислых бактерий и консервированию корма.

Таблица 2 – Показатели кормовой ценности силоса
Table 2 – Indicators of feed value of silos

Варианты	Обменная энергия, МДж/кг сухого вещества	В сухом веществе, %			
		зола	протеин	клетчатка	жир
Люцерна изменчивая 100%	9,5	7,32	16,2	26,0	3,63
Люцерна + биоконсервант	9,6	7,65	16,0	26,7	3,25
Люцерна 85% Кипрей 15%	10,6	7,48	17,7	27,9	3,45

Выводы. Результаты проведенных исследований показали, что добавка к люцерне биоконсерванта, также как и добавка кипрея к ней, положительно сказывается на её силосуемости. Корм получается хорошего качества. Добавка биоконсерванта способствует процессу молочнокислого брожения и сохранению питательных свойств люцерны. Силос с добавкой кипрея узколистного, наравне с кормом, приготовленным с добавкой биоконсерванта к люцерне, имел хорошие показатели по содержанию питательных веществ в своём составе и даже превосходил его по выходу обменной энергии на 1 МДж/кг сухого вещества.

Силос из люцерны с добавкой кипрея отличался повышенным содержанием сырого протеина с показателем 17,7 % и клетчатки 27,9 %.

По результату сравнительного анализа силосов на основе люцерны изменчивой можно сделать вывод об эффективности добавки кипрея узколистного в соотношении 15 % от массы люцерны.

Такой подход к заготовке сочного корма в Северо-Западном регионе России позволит улучшить кормление скота, что благоприятно скажется на уровне рентабельности и экономике производства животноводческой продукции в целом.

Conclusions. The results of the studies showed, that adding a biopreservative to alfalfa is the same as adding fireweed to it have a positive effect on its silage production. The food is of good quality. The addition of a biopreservative promotes the process of lactic acid fermentation and maintaining the nutritional properties of alfalfa. Silage with the addition of angustifolia fireweed, on a par with feed prepared with the addition of a biopreservative to alfalfa, had good nutrient content in its composition and even surpassed it in the yield of metabolic energy by 1 MJ/kg of dry matter.

Alfalfa silage with added fireweed had a high crude protein content with an indicator of 17.7% and fiber 27.9%.

Based on the results of a comparative analysis of silos based on alfalfa, one can conclude about the effectiveness of the angustifolia fireweed supplement in a ratio of 15% by weight of alfalfa.

This approach to preparing succulent feed in the North-West region of Russia will improve livestock feeding, which will have a positive impact on profitability and the economics of livestock production in general.

Библиографический список

1. Епифанов В. Г. и др. Влияние кормовой добавки «Белков-М» на молочную продуктивность голштинизированные первотёлок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 2 (34). С. 93-98.
2. Варакин А. Т. и др. Влияние силоса, приготовленного с консервантом, на продуктивность лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 2 (34). С. 89-93.
3. Тяпугин Е. А. и др. Возделывание люцерны изменчивой (*Medicago Vriamart.*) в смешанных посевах в условиях Северо-Запада России. Кормопроизводство. 2016. № 10. С. 22-25.
4. Епифанов В. Г., Зотеев В. С., Заикин А. Е. Влияние белковой кормовой добавки Белков-М на качество молока коров чёрно-пёстрой породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (50). С. 102-104.

5. Зотеев В. С., Магомедов М. Ш., Алигазиева П. А. Комплексная минеральная добавка в рационе лактирующих коров в летний период. Проблемы развития АПК региона. 2014. Т. 18. № 2 (18). С. 58-61.
6. Гайирбегов Д. Ш. и др. Как более рационально использовать БАД ферросил в рационах животных и птицы. Эффективное животноводство. 2015. № 7 (116). С. 33-35.
7. Тяпугин Е. А. и др. Качество молока коров при различных технологиях доения. Проблемы развития АПК региона. 2015. Т. 23. № 3 (23). С. 75-78.
8. Маклахов А. В. и др. Некоторые аспекты модернизации экономики Нечерноземья (на примере Вологодской области). Проблемы развития территории. 2020. № 2 (106). С. 81-94.
9. Зотеев В. С. и др. Оптимизация уровня меди в рационе холостых овцематок. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 31-34.
10. Победнов Ю. А. Как получить качественный силос из люцерны. Эффективное животноводство. 2021. № 3 (169). С. 48-51.
11. Садыков М. М. и др. Продуктивность калмыцкого скота в условиях Дагестана. Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 3. С. 19-21.
12. Варакин А. Т. и др. Производство говядины с использованием кормовых добавок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 282-291.
13. Садыков М. М., Алиханов М. П. Рост и развитие телок горского скота и помесей с русской комолой в Дагестане. Молочное и мясное скотоводство. 2019. № 5. С. 22-25.
14. Садыков М. М., Гайирбегов Д. Ш., Манджиев Д. Б. Откорм бычков в условиях аридной зоны юга России. Проблемы развития АПК региона. 2015. Т. 24. № 4 (24). С. 63-66.
15. Шевелева С. Н. и др. Силосование люцерны с консервантом SILA-PRIME. Горное сельское хозяйство. 2022. № 2. С. 67-70.
16. 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.
17. Старковский Б. Н. Влияние кипрея узколистного на качество силоса из люцерны. Кормопроизводство. 2019. № 3. С. 40-44.
18. Старковский Б. Н. Проблема производства нетрадиционного растительного сырья. Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 4 (16). С. 37-44.
19. Старковский Б. Н. и др. Технология возделывания кипрея узколистного в условиях северного региона на кормовые цели. АгроСнабФорум. 2018. № 5 (161). С. 66-68.
20. 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.
21. Симонов Г. А. и др. Эффективное кормление высокопродуктивных молочных коров на разных физиологических стадиях. Эффективное животноводство. 2018. № 1 (140). С. 28-29.
22. Тяпугин Е. А. и др. Эффективность выращивания нового сорта гороха полевого Вологодский усатый на зелёную массу. Кормопроизводство. 2017. № 8. С. 38-41.
23. Simonov G. A., et al. Efficiency of growing crossbreed bull-calves of the mountain cattle with Russian polled breed. E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture", IDSISA 2020" 2020. P. 02004.
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. Iss. 1. P. 3837-3841.
25. Starkovsky B. N., Simonov G. A., Malinovskaya Yu. N. Cultivation of fireweed (epilobium angustifolium) together with nettle dioecious (urtica dioica). E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture", IDSISA 2020" 2020. P. 03004.

References

1. Epifanov V. G., et al. The effect of the feed additive "Belkov-M" on the milk productivity of Holstein first-born heifers. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2014. No 2 (34). Pp. 93-98.

2. Varakin A. T., et al. The influence of silage prepared with a preservative on the productivity of lactating cows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2014. No 2 (34). Pp. 89-93.
3. Tyapugin E. A., et al. Cultivation of alfalfa (MEDICAGO VRIAMART.) in mixed crops in the North-West of Russia. Feed production. 2016. No 10. Pp. 22-25.
4. Epifanov V. G., Zoteev V. S., Zaikin A. E. Effect of protein feed additive Belkov-M on the quality of milk from black-and-white cows. News of the Orenburg State Agrarian University. 2014. No 6 (50). Pp. 102-104.
5. Zoteev V. S., Magomedov M. Sh., Aligazieva P. A. Complex mineral supplement in the diet of lactating cows in the summer. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2014. T. 18. No 2 (18). Pp. 58-61.
6. 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.
7. Tyapugin E. A., et al. Quality of milk from cows using different milking technologies. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2015. V. 23. No 3 (23). Pp. 75-78.
8. Maklakhov A. V., et al. Some aspects of modernization of the economy of the Non-Black Earth Region (using the example of the Vologda region). Problems of territory development. 2020. No 2 (106). Pp. 81-94.
9. Zoteev V. S., et al. Optimization of the level of copper in the diet of single ewes. Sheep, goats, wool business. 2018. No 2. Pp. 31-34.
10. Pobednov Yu. A. How to obtain high-quality silage from alfalfa. Efficient livestock farming. 2021. No 3 (169). Pp. 48-51.
11. Sadykov M. M., et al. Productivity of Kalmyk cattle in the conditions of Dagestan. Dairy and beef cattle breeding. 2017. No 3. Pp. 19-21.
12. Varakin A. T., et al. Beef production using feed additives. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2021. No 3 (63). Pp. 282-291.
13. Sadykov M. M., Alikhanov M. P. Growth and development of heifers of mountain cattle and crosses with Russian polled in Dagestan. Dairy and beef cattle breeding. 2019. No 5. Pp. 22-25.
14. Садыков М. М., Гайирбеков Д. Ш., Манджиев Д. Б. Fattening bulls in the arid zone of southern Russia. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2015. V. 24. No 4 (24). Pp. 63-66.
15. Sheveleva S. N., et al. Ensilage of alfalfa with SILA-PRIME preservative. Mountain agriculture. 2022. No 2. Pp. 67-70.
16. 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.
17. Starkovsky B. N. The influence of angustifolia fireweed on the quality of alfalfa silage. Feed production. 2019. No 3. Pp. 40-44.
18. Starkovsky B. N. The problem of production of non-traditional plant raw materials. Dairy Bulletin. 2014. No 4 (16). Pp. 37-44.
19. Starkovsky B. N., et al. Technology of cultivation of angustifolia fireweed in the conditions of the northern region for feed purposes. AgroSnabForum. 2018. No 5 (161). Pp. 66-68.
20. 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.
21. Simonov G. A., et al. Effective feeding of highly productive dairy cows at different physiological stages. Effective animal husbandry. 2018. No 1 (140). Pp. 28-29.
22. Tyapugin E. A., et al. Efficiency of growing a new variety of field pea Vologda mustachioed for green mass. Feed production. 2017. No 8. Pp. 38-41.
23. Simonov G. A., et al. Efficiency of growing crossbreed bull-calves of the mountain cattle with Russian polled breed. E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture", IDSISA 2020" 2020. P. 02004.

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. Iss. 1. Pp. 3837-3841.

25. Starkovsky B. N., Simonov G. A., Malinovskaya Yu. N. Cultivation of fireweed (epilobium angustifolium) together with nettle dioecious (urtica dioica). E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture", IDSISA 2020" 2020. P. 03004.

Информация об авторах

Старковский Борис Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Растениеводство, земледелие и агрохимия», Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2), e-mail: bor.2076@yandex.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, главный 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), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4559-233X>, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

Теребова Светлана Викторовна, доктор экономических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории инновационной экономики, Вологодский научный центр РАН (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а), e-mail: svetlana-ter@mail.ru

Симонов Александр Геннадьевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика», Российский университет дружбы народов (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8497-9564>, e-mail: alexandersimonov@mail.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

Author's Information

Starkovsky Boris Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Plant Growing, Agriculture and Agrochemistry, Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin (Russian Federation, 160555, Vologda, Molochnoye village, Shmidta st., 2), e-mail: bor.2076@yandex.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, Chief Researcher department of intensive technologies for cultivating agricultural crops, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4559-233X>, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

Terebova Svetlana Viktorovna, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Chief Researcher Laboratory of Innovative Economics, Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160014, Vologda, Gorky St., 56a), e-mail: svetlana-ter@mail.ru

Simonov Aleksander Gennadievich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of "Economic", Peoples' Friendship University of Russia (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8497-9564>, e-mail: alexandersimonov@mail.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

GENETIC DIVERSITY OF REGIONAL REINDEER POPULATIONS BASED ON MITOCHONDRIAL DNA CYTB GENE ANALYSIS

V. R. Kharzinova, O. A. Koshkina, A. V. Dotsev, N. A. Zinovieva

*L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
Dubrovitsy, Moscow Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: olechka1808@list.ru

Received 13.10.2023

Submitted 20.11.2023

*This work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 21-16-00071
(sequencing of the wild and domestic Tuvian reindeer samples), and by the Ministry of Science
and Higher Education of the Russian Federation, project No. 0445-2022-0002
(sequencing of the Nenets reindeer samples)*

Summary

The paper presents the results of the analysis of mitochondrial CytB gene polymorphism in regional domestic and wild reindeer populations. The results showed that the wild reindeer were characterized by higher genetic diversity compared to domestic groups. The results obtained in this study can be recommended for use in the implementation of biodiversity conservation programs for the studied reindeer populations of the Russian Far North.

Abstract

Introduction. Reindeer is an important component of the ecosystem of the Russian Far North, a distinctive feature of which is the cohabitation of domestic and wild populations. Studying the characteristics of the genetic diversity of reindeer populations using various types of genetic markers has always been of interest to scientists from different countries. **Object.** The object of the research is samples of biological material of domestic and wild reindeer. **Materials and methods.** A total of 36 individuals were analyzed, including the wild reindeer inhabiting the territory of the Taimyr Autonomous Okrug (WLD, n=16) and domestic reindeer of the Nenets breed bred on the territory of the reindeer herding agricultural enterprise of the Bolshezemelskaya tundra of the Nenets Autonomous Okrug (NEN, n=15) and the Todzha population of the Todzhinsky district of the northeastern part of the Republic of Tuva (TUVA, n=5). The nucleotide sequence of the mitochondrial CytB gene (1140 bp) was determined by Sanger sequencing. Analysis of genetic diversity was carried out based on the values of the number of polymorphic sites (S), the average number of nucleotide differences (K), the number of haplotypes (H), haplotype (Hd) and nucleotide (π) diversity. The construction of the median haplotype connection network was carried out using the PopART 1.7 software. **Results and conclusions.** The development of the test-system allowed to obtain and analyze the complete nucleotide sequence of the mitochondrial gene CytB, on the basis of which it was revealed that the Taimyr population of the wild reindeer was superior to both samples of domestic reindeer in all parameters of genetic diversity: $Hd = 0.958 \pm 0.036$, $S=35$, $K = 7.942$, $\pi=0.00697 \pm 0.00052$. The detected high values of haplotype and nucleotide diversity in the wild population may indicate an expansive growth in population size. Analysis of the median network demonstrated, on the one hand, the common origin of the Taimyr population of wild reindeer with representatives of domestic reindeer of the Nenets breed, and the genetic isolation of a sample of domestic reindeer from the Todzha region of the Republic of Tuva, on the other hand.

Key words: reindeer, cytochrome B gene, mitochondrial DNA, regional deer populations.

Citation. Kharzinova V. R., Koshkina O. A., Dotsev A. V., Zinovieva N. A. Genetic diversity of regional reindeer populations based on mitochondrial DNA CytB gene analysis. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 300-308. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-31.

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

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

УДК 636.082

**ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ
СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГЕНА CytB
МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК****В. Р. Харзинова**, кандидат биологических наук**О. А. Кошкина**, аспирант**А. В. Доцев**, кандидат биологических наук**Н. А. Зиновьева**, доктор биологических наук, профессор, академик РАН*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства –
ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста»**пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация*

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №. 21-16-00071 (секвенирование образцов дикой таймырской и домашней тувинской популяций северного оленя), и при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ тема № 0445-2022-0002 (секвенирование образцов ненецкой породы северного оленя)

Актуальность. Северный олень представляет собой важный компонент экосистемы Крайнего Севера России, отличительной особенностью которого является совместное обитание домашних и диких популяций. Изучение особенностей генетического разнообразия популяций северного оленя с применением различных типов генетических маркеров всегда вызывали интерес ученых разных стран. **Объект.** Объектом исследований являются образцы биологического материала домашних и диких северных оленей. **Материалы и методы.** Всего было проанализировано 36 особей, включая дикого северного оленя, обитающего на территории Таймырского автономного округа (WLD, n=16), и домашних оленей ненецкой породы, разводимой на территории оленеводческого сельхозпредприятия Большеземельской тундры Ненецкого автономного округа (NEN, n=15) и тоджинской популяции Тоджинского района северо-восточной части Республики Тува (TUV, n=5). Нуклеотидная последовательность митохондриального гена CytB (1140 п.н.) была определена методом секвенирования по Сэнгеру. Анализ генетического разнообразия был проведен на основании значений числа полиморфных сайтов (S), среднего числа нуклеотидных различий (K), количества гаплотипов (H), гаплотипического (Hd) и нуклеотидного (π) разнообразия. Построение медианной сети соединения гаплотипов проводили в программе PopART 1.7. **Результаты и выводы.** Разработка тест-системы позволила получить и провести анализ полной нуклеотидной последовательности митохондриального гена CytB, на основании которого было выявлено, что таймырская популяция дикого северного оленя превосходила обе выборки домашних оленей по всем параметрам генетического разнообразия: $Hd = 0,958 \pm 0,036$, $S=35$, $K=7,942$, $\pi=0,00697 \pm 0,00052$. Обнаруженные высокие значения гаплотипического и нуклеотидного разнообразия в дикой популяции могут свидетельствовать об экспансивном росте численности популяции. Анализ медианной сети продемонстрировал, с одной стороны, общность происхождения таймырской популяции дикого северного оленя с представителями домашних оленей ненецкой породы и генетическую обособленность выборки домашних северных оленей Тоджинского района Республики Тува, с другой стороны.

Ключевые слова: северный олень, ген цитохром B, митохондриальная ДНК, региональные популяции оленей.

Цитирование. Харзинова В. Р., Кошкина О. А., Доцев А. В., Зиновьева Н. А. Генетическое разнообразие региональных популяций северного оленя на основе анализа гена CytB митохондриальной ДНК. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 300-308. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-31.

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. Северный олень (*Rangifer tarandus*) – это парнокопытное животное, обитающее на всей приполярной территории Северного полушария, которое является последним одомашненным человеком животным [1, 2]. По данным проекта Арктического совета "Устойчивое оленеводство", в России насчитывается около 2/3 мирового поголовья домашних северных оленей, обитающих в тундре, лесотундре, бореальных лесах (тайге) и горных районах на площади более 3 млн. км² [3]. Домашняя популяция северного оленя представлена четырьмя официально признанными породами, а также породными группами, отличающимися друг от друга по экстерьерно-конституциональным признакам. Наряду с домашними оленями малочисленные народы Севера могут быть обеспечены кормами, одеждой и другими необходимыми средствами для жилья за счет диких популяций северных оленей. Наиболее крупная популяция обитает в центральной Арктике – на Таймыре, в Эвенкии, Якутии – около 480 тыс. особей.

В настоящее время численность популяций северного оленя резко сократилась, что, вероятно, связано с переменами в экономических интересах, глобальным изменением климата и развитием промышленности. Для эффективного управления популяциями северных оленей и преодоления негативных последствий их сокращения необходимо применять современные подходы к оценке и сохранению биоразнообразия этого важного вида. Генетическое разнообразие и популяционная структура северного оленя в России подробно описаны на основе анализа маркеров ядерного генома [4, 5], в то время как генетическая изменчивость северного оленя на основе последовательностей митохондриального генома недостаточно раскрыта, о чем свидетельствуют современные сведения.

Целью настоящей работы является определение гаплотипической изменчивости и генетического разнообразия региональных популяций дикого и домашнего северного оленя на основе анализа полиморфизма митохондриального гена цитохрома В (*CytB*).

Материалы и методы. Объектом исследований являются образцы биологического материала домашних и диких северных оленей. Исследования проводились на оборудовании центра коллективного пользования «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста.

Всего было проанализировано 36 особей включая диких ($n = 16$) и домашних ($n = 20$) северных оленей. Образцы мышечной ткани дикого северного оленя были представлены таймырской популяцией с западного Таймыра (WLD). Диапазон координат территории, с которой были отобраны образцы дикого северного оленя, составил 70° до 74° с.ш. и 91° до 107° в.д. Образцы тканей домашних северных оленей были взяты от домашних оленей ненецкой породы, разводимой на территории оленеводческого сельхозпредприятия Большеземельской тундры Ненецкого автономного округа (NEN, $n=15$) и тоджинской популяции Тоджинского района северо-восточной части Республики Тува (TUYA, $n=5$).

Выделение ДНК осуществляли с помощью набора ДНК-Экстран-2 (ООО «Синтол», Россия) согласно протоколу производителя. Количественное определение образцов ДНК проводили методом визуализации полос на 1%-ном агарозном геле электрофорезе. Точное измерение концентрации ДНК проводили на флуориметре Qubit 3.0 (Thermo Fisher Scientific (панее Life Technologies), Wilmington, DE, USA). Чистоту ДНК определяли по соотношению поглощения A260/A280 на спектрофотометре NanoDrop2000 (Thermo Fisher Scientific, Wilmington, DE, USA).

Полную нуклеотидную последовательность митохондриального гена *CytB* получали посредством секвенирования по Сэнгеру. Подбор праймеров для постановки ПЦР осуществляли в соответствии с референсной последовательностью полного митохон-

дриального генома северного оленя, представленной в NCBI Rangifer tarandus mitochondrion, complete genome (GenBank: NC_007703.1), с использованием онлайн-ресурса BLAST. Нуклеотидные последовательности прямого и обратного праймеров представлены ниже:

CytB_RT_For – 5'-TCGTTGTCATTCAACTACAAGAACA-3',

CytB_RT_Rev – 5'-TCSTTTTCTGGTTTACAAGACCAG-3'.

Наработка целевого фрагмента ДНК проводилась посредством стандартной ПЦР в термоциклере (Applied Biosystems SimpliAmp, "ThermoFisher Scientific, Inc.", США) при следующих условиях (таблица 1).

Таблица 1 – Условия проведения полимеразной цепной реакции определения полной нуклеотидной последовательности митохондриального гена *CytB* северного оленя
Table 1 – Conditions for polymerase chain reaction to determine the complete nucleotide sequence of the reindeer mitochondrial *CytB* gene

Состав реакционной смеси		Температурно-временной режим			
Реагент	Количество, мкл	Этап	t, °C	Время, с	Количество циклов
Деонизированная вода ddH ₂ O	5,4	Начальная денатурация	96°C	120	1
2,5×HF Taq реакционный буфер	5	Денатурация	96°C	30	40
dNTP (1 ммоль/л)	1	Отжиг праймеров	61°C	30	
Прямой праймер CytB_RT_For (10 пМ)	0,25	Элонгация	72°C	180	1
Обратный праймер CytB_RT_Rev (10 пМ)	0,25	Заключительная элонгация	72°C	600	
SmartTaq HF-FuZZ ДНК-полимеразы (5 мкл/У) (ООО "Диалат", Москва, Россия)	0,1	Хранение	10°C	∞	
Геномная ДНК (10 нг/мкл)	1				
Конечный объем	13				

Аmplифицированный фрагмент очищали с помощью набора Cleanup Mini для выделения и очистки ДНК из агарозного геля и реакционных смесей (ЗАО "Евроген", Москва, Россия) и секвенировали с использованием коммерческого набора GeneSeq 2.0 (ООО «Синтол» Россия) на генетическом анализаторе "Нанофор 05" (ООО «Синтол», Россия). Сиквенсную реакцию проводили в конечном объеме 20 мкл, содержащим 3 мкл геномной ДНК (10 нг/мкл), 1 мкл (4 пМ) секвенирующего праймера, 8 мкл готовой реакционной смеси и 8 мкл ddH₂O. Условия секвенирования были следующими: начальная денатурация в течение 1 мин при 95°C, 30 циклов денатурации при 95°C в течение 10 с, отжига при 50°C в течение 10 с и удлинения при 60°C в течение 2 мин. Продукты ПЦР-секвенирования хранились при температуре 4°C до использования.

Полученные электрофореграммы переводили в нуклеотидную последовательность в программе Mutation Surveyor V5.1.2 [6]. Построение медианной сети соединения гаплотипов [7] проводили в программе PopART 1.7 [8]. Определение наилучших моделей эволюции осуществлялось отдельно для каждого нуклеотида в программе PartitionFinder 2 [9] с использованием скорректированного критерия Akaike с поправкой на информацию (AICc) [10]. Для анализа генетического разнообразия, с использо-

ванием программного обеспечения DnaSP 6.12.01 [11], был проведен расчёт числа полиморфных сайтов (S), среднего числа нуклеотидных различий (K), количества гаплотипов (H), гаплотипического (Hd) и нуклеотидного (π) разнообразия.

Результаты и обсуждение. Показатели генетического разнообразия исследованных региональных выборок домашнего и дикого северного оленя, включая ненецкую породу и тоджинскую популяцию домашнего северного оленя и таймырскую популяцию дикого северного оленя, рассчитанные на основе анализа полной нуклеотидной последовательности митохондриального гена *CytB*, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры генетического разнообразия ненецкой породы и тоджинской популяции домашнего северного оленя и таймырской популяции дикого северного оленя, рассчитанные на основе анализа полной нуклеотидной последовательности митохондриального гена *CytB*, 2023 г.

Table 2 – Parameters of genetic diversity of the Nenets breed and the Todzha population of domestic reindeer and the Taimyr population of the wild reindeer calculated based on analysis of the complete nucleotide sequence of the mitochondrial gene *CytB*, 2023

Порода / популяция	n	S	K	H	Hd ($\pm$ SEM)	π ($\pm$ SEM)
Ненецкая порода (NEN)	15	17	4,324	6	0,762 $\pm$ 0,096	0,00379 $\pm$ 0,0006
Тоджинская популяция (TUVa)	5	5	2,800	4	0,900 $\pm$ 0,161	0,00246 $\pm$ 0,00054
Дикая таймырская популяция (WLD)	16	35	7,942	12	0,958 $\pm$ 0,036	0,00697 $\pm$ 0,00052

Примечание: n – число образцов, S – число полиморфных сайтов, K – среднее число нуклеотидных различий, H – количество гаплотипов, Hd – гаплотипическое разнообразие, π – нуклеотидное разнообразие.

Согласно данным таблицы 2, по всем исследованным образцам домашних и диких северных оленей было детектировано 22 гаплотипа с преобладанием их количества у особей дикой таймырской популяции. Аналогичная тенденция была выявлена и относительно количества переменных участков: их количество было выше у диких оленей ($S = 35$), чем в обеих выборках домашних оленей, в частности в ненецкой породе и тоджинской популяции – 17 и 5 соответственно. Интересная закономерность была отмечена по распределению разнообразия гаплотипов, практически одинаковые максимальные значения, которого были детектированы у диких северных оленей полуострова Таймыр ($Hd = 0,958 \pm 0,036$) и домашних северных оленей Республики Тува ($Hd = 0,900 \pm 0,161$). При этом надо отметить, что последняя популяция характеризовалась наименьшими значениями среднего числа нуклеотидных различий ($K = 2,800$), а также нуклеотидного разнообразия ($\pi = 0,00246 \pm 0,00054$).

На основании нуклеотидных последовательностей полного митохондриального гена *CytB* северного оленя была построена медианная сеть соединения гаплотипов, представленная на рисунке 1.

Как показано на рисунке 1, дикая популяция и ненецкая порода оленей имели общие гаплотипы друг с другом, при этом тоджинская популяция северного оленя была образована лишь приватными гаплотипами. Также стоит отметить, что домашние олени Тоджинского района проявили наибольшую генетическую обособленность от остальных исследованных выборок домашнего и дикого северного оленя.

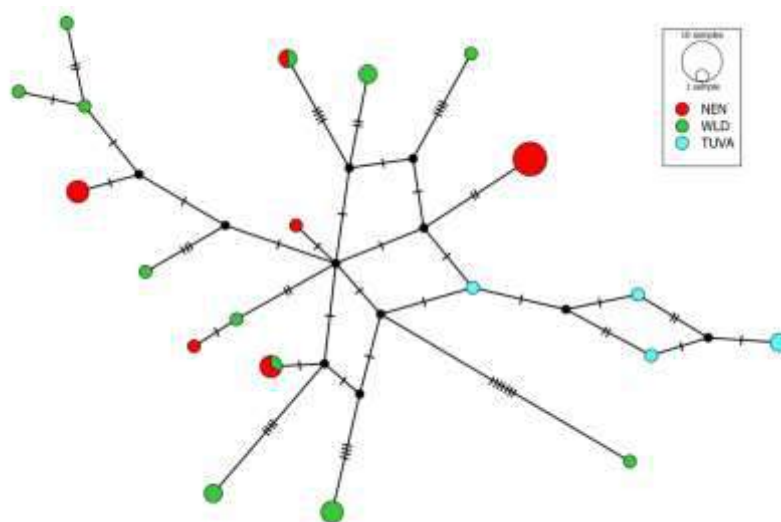


Рисунок 1 – Медианная сеть, характеризующая связи гаплотипов, идентифицированных в ненецкой породе и тоджинской популяции домашнего северного оленя и таймырской популяции дикого северного на основе анализа полиморфизма митохондриального гена *CytB*
Figure 1 – Median network characterizing the connections of haplotypes identified in the Nenets breed and the Todzha population of the domestic reindeer and the Taimyr population of the wild reindeer based on the analysis of polymorphism of the mitochondrial gene *CytB*

Обсуждение. Северный олень – важнейший компонент экосистемы Крайнего Севера России, который играет существенную роль в экономике Севера, обеспечивая занятость и благосостояние малочисленных народов этого обширного региона, являясь объектом как промысла, так и разведения. Обитание как домашних, так и диких северных оленей на одних и тех же территориях является особенностью данного вида и отличает его от большинства других видов животных. Вопросы изучения особенностей генетического разнообразия популяций северного оленя с применением различных типов генетических маркеров всегда вызывали интерес ученых разных стран. Первые результаты были получены в 1960-х годах, а затем последовало широкое применение метода гель-электрофореза [12]. В дальнейшем применение микросателлитных и SNP-маркеров позволило установить, в общем высокий уровень различий между группами домашних и диких северных оленей.

Исследование уровня генетического разнообразия в популяциях и филогенетических связей между группами северных оленей также проводится на основании анализа митохондриальной ДНК. Большинство ранее опубликованных работ было проведено на основании анализа полиморфизма контрольного региона D-петли. Так, своеобразие алтае-саянской популяции сибирского лесного северного оленя Кузнецкого Алатау (*Rangifer tarandus valentinae*), проявленное в существовании уникальных митохондриальных линий, отсутствии признаков интрогрессии мтДНК домашних оленей, а также в низком уровне генетического разнообразия, было показано на основании анализа полиморфизма контрольного региона мтДНК [13]. Аналогичным образом, анализируя последовательности контрольного региона мтДНК, Kvie K.S. et al [14] установили, что северные олени с арктических архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля филогенетически близкородственны, что указывает на их общее происхождение. В нашей работе, принимая во внимание большую вариабельность D-петли, мы провели исследования региональных выборок домашнего и дикого северного оленя на основании более консервативного участка митохондриальной ДНК гена *CytB*. Выявленные нами

различия в отношении частот митохондриальных гаплотипов между исследованными домашними и дикими популяциями северного оленя, так же были обнаружены при анализе изменчивости последовательностей гена *CytB* в популяциях карибу и домашних северных оленей, обитающих в США и Канаде [15]. Кроме того, высокие значения гаплотипического и нуклеотидного разнообразия были детектированы в выборке диких северных оленей, что может свидетельствовать об экспансивном росте численности данной популяции. Из всех домашних северных оленей малочисленная популяция, разводимая на территории Тоджинского района северо-восточной части Республики Тува, характеризуется экстерьерно-конституциональными отличиями. Данная популяция проявила отличную генетическую структуру и имела в своем составе приватные гаплотипы, дифференцирующие ее от выборки как домашней, так и дикой популяций северного оленя.

Заключение. Таким образом, результаты проведенных исследований, основанные на анализе последовательностей митохондриального гена *CytB*, показали, что таймырская популяция дикого северного оленя характеризуется большим количеством гаплотипов, чем домашние олени ненецкой породы и тоджинской популяции. При этом дикая популяция проявила общность происхождения с ненецкой породой. Домашние олени, разводимые на территории Тоджинского района Республики Тува, имели отличную генетическую структуру, что проявилось в их отдельной кластеризации, как от исследованной выборки домашних оленей ненецкой породы, так и диких северных оленей таймырской популяции.

Несмотря на небольшое количество исследованных в данной работе образцов домашних и диких северных оленей, нами были выявлены интересные закономерности в генетической структуре региональных популяций вида, которые могут быть использованы в качестве рекомендаций при разработке программ по сохранению биоразнообразия этого ценнейшего обитателя Крайнего Севера России.

Conclusions. The obtained results of the current study, based on the analysis of mitochondrial cytochrome b gene sequences, demonstrated that the wild reindeer were characterized by higher genetic diversity than both domestic groups. Tuva reindeer clustered separately from the other populations and were characterized by higher haplotype diversity than the Nenets conspecifics that had a higher average number of nucleotide differences. Our findings will assist in the programs of biodiversity conservation of this essential element of Russia's Far North.

Библиографический список

1. Lundqvist H., Danell Ö., Norell L. Range suitability criteria for reindeer herding. *Rangifer*. 2003. Vol. 23. No 2. Pp. 48–56.
2. Hirst K. Reindeer Domestication. Available online: <http://thoughtco.com/reindeer-history-and-domestication-170666>.
3. Klovov K. Reindeer husbandry in Russia. *Int. J. Entrep. Small Bus.* 2007. Vol. 4. P. 726.
4. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Fedorov V. I., Brem G., Zinovieva N. A. Estimation of biodiversity and population structure of Russian reindeer breeds inhabiting Northeastern Siberia using microsatellite markers. *Acta Fytotechn. Zootechn.* 2016. Vol. 19. Pp. 87–92.
5. Kharzinova V., Dotsev A., Solovieva A., Sergeeva O., Bryzgalov G., Reyer H., Wimmers K., Brem G., Zinovieva N. Insight into the current genetic diversity and population structure of domestic reindeer (*Rangifer tarandus*) in Russia. *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 1309.
6. Dong C., Yu B. Mutation surveyor: an in silico tool for sequencing analysis. *Methods Mol Biol.* 2011. Vol. 760. Pp. 223–237.
7. Bandelt H., Forster P., Röhl A. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*. 1999. Vol. 16. No 1. Pp. 37–48.
8. Leigh J. W., Bryant D. PopART: Full-feature software for haplotype network construction. *Methods in Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 6. No 9. Pp. 1110–1116.
9. Lanfear R., Frandsen P. B., Wright A. M., Senfeld T., Calcott B. PartitionFinder 2: new methods for selecting partitioned models of evolution for molecular and morphological phylogenetic analyses. *Molecular Biology and Evolution*. 2017. Vol. 34. No 3. Pp. 772–773.
10. Akaike H. A new look at statistical model identification. *IEEE Trans Auto Control*. 1974. Vol. 19. Pp. 716–723.

11. Rozas J., Ferrer-Mata A., Sánchez-DelBarrio J. C., Guirao-Rico S., Librado P., Ramos-Onsins S. E., Sánchez-Gracia A. DnaSP 6: DNA Sequence Polymorphism Analysis of Large Datasets. *Molecular Biology and Evolution*. 2017. Vol. 34. Pp. 3299-3302.
12. Storset A., Olaisen B., Wika M., Bjarghov R. Genetic markers in the Spitzbergen reindeer. *Hereditas*. 1978. Vol. 88. Pp. 113–115.
13. Васильченко А. А., Холодова М. В., Баранова А. И., Найденко С. В., Рожнов В. В. Генетическое своеобразие сибирского лесного северного оленя (*Rangifer tarandus valentinae* Flerov, 1932) Кузнецкого Алатау. Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2020. Т. 494. № 1. С. 522-526.
14. Kvie K. S., Heggenes J., Røed K. H., Anderson D. G., Kholodova M. V., Sipko T., Mizin I. Colonizing the High Arctic: Mitochondrial DNA Reveals Common Origin of Eurasian Archipelagic Reindeer (*Rangifer tarandus*). *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. No 11. P. e0165237.
15. Cronin M. A., Macneil M. D., Patton J. C. Mitochondrial DNA and microsatellite DNA variation in domestic reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) and relationships with wild caribou (*Rangifer tarandus granti*, *Rangifer tarandus groenlandicus*, and *Rangifer tarandus caribou*). 2006. Vol. 97. No 5. Pp. 525–530.

References

1. Lundqvist H., Danell Ö., Norell L. Range suitability criteria for reindeer herding. *Rangifer*. 2003. Vol. 23. No 2. Pp. 48–56.
2. Hirst K. Reindeer Domestication. Available online: <http://thoughtco.com/reindeer-history-and-domestication-170666>.
3. Klovov K. Reindeer husbandry in Russia. *Int. J. Entrep. Small Bus.* 2007. Vol. 4. P. 726.
4. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Fedorov V. I., Brem G., Zinovieva N. A. Estimation of biodiversity and population structure of Russian reindeer breeds inhabiting Northeastern Siberia using microsatellite markers. *Acta Fytotechn. Zootechn.* 2016. Vol. 19. Pp. 87–92.
5. Kharzinova V., Dotsev A., Solovieva A., Sergeeva O., Bryzgalov G., Reyer H., Wimmers K., Brem G., Zinovieva N. Insight into the current genetic diversity and population structure of domestic reindeer (*Rangifer tarandus*) in Russia. *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 1309.
6. Dong C., Yu B. Mutation surveyor: an in silico tool for sequencing analysis. *Methods Mol Biol.* 2011. Vol. 760. Pp. 223-237.
7. Bandelt H., Forster P., Röhl A. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*. 1999. Vol. 16. No 1. Pp. 37–48.
8. Leigh J. W., Bryant D. PopART: Full-feature software for haplotype network construction. *Methods in Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 6. No 9. Pp. 1110–1116.
9. Lanfear R., Frandsen P. B., Wright A. M., Senfeld T., Calcott B. PartitionFinder 2: new methods for selecting partitioned models of evolution for molecular and morphological phylogenetic analyses. *Molecular Biology and Evolution*. 2017. Vol. 34. No 3. Pp. 772-773.
10. Akaike H. A new look at statistical model identification. *IEEE Trans Auto Control*. 1974. Vol. 19. Pp. 716–723.
11. Rozas J., Ferrer-Mata A., Sánchez-DelBarrio J. C., Guirao-Rico S., Librado P., Ramos-Onsins S. E., Sánchez-Gracia A. DnaSP 6: DNA Sequence Polymorphism Analysis of Large Datasets. *Molecular Biology and Evolution*. 2017. Vol. 34. Pp. 3299-3302.
12. Storset A., Olaisen B., Wika M., Bjarghov R. Genetic markers in the Spitzbergen reindeer. *Hereditas*. 1978. Vol. 88. Pp. 113–115.
13. Vasilchenko A. A., Kholodova M. V., Baranova A. I., Naydenko S. V., Rozhnov V. V. Genetic originality of the Siberian forest reindeer (*Rangifer tarandus valentinae* Flerov, 1932) Kuznetsk Alatau. Reports of the Russian Academy of Sciences. Life sciences. 2020. V. 494. № 1. Pp. 522-526.
14. Kvie K. S., Heggenes J., Røed K. H., Anderson D. G., Kholodova M. V., Sipko T., Mizin I. Colonizing the High Arctic: Mitochondrial DNA Reveals Common Origin of Eurasian Archipelagic Reindeer (*Rangifer tarandus*). *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. No 11. P. e0165237.
15. Cronin M. A., Macneil M. D., Patton J. C. Mitochondrial DNA and microsatellite DNA variation in domestic reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) and relationships with wild caribou (*Rangifer tarandus granti*, *Rangifer tarandus groenlandicus*, and *Rangifer tarandus caribou*). 2006. Vol. 97. No 5. Pp. 525–530.

Информация об авторах

Харзинова Вероника Руслановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0002-8067-0404, e-mail: veronika0784@mail.ru

Кошкина Ольга Андреевна, аспирант, младший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-4830-6626, e-mail: olechka1808@list.ru

Доцев Арсен Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-3418-2511, e-mail: asnd@mail.ru

Зиновьева Наталья Анатольевна, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, директор ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-4017-6863, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru

Author's Information

Kharzinova Veronika Ruslanovna, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0002-8067-0404, e-mail: veronika0784@mail.ru

Koshkina Olga Andreevna, graduate student, junior researcher at the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0003-4830-6626, e-mail: olechka1808@list.ru

Dotsev Arsen Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Leading Researcher of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0003-3418-2511, e-mail: asnd@mail.ru

Zinovieva Natalya Anatolyevna, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0003-4017-6863, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-32

EFFECT OF ANTIPARASITIC VETERINARY DRUG ON SURVIVAL AND BIOMASS RATE OF HERMETIA ILLUCENS LARVAE

**K. G. Kuznetsova¹, E. V. Mechtaeva¹, A. Z. Zhuravleva¹, A. D. Chernov²,
G. P. Kotova¹, V. Yu. Sitnov¹, D. S. Ryabukhin¹**

¹*All-Russia Research Institute for Food Additives – Branch named after V. M. Gorbatov,
Russian Academy of Sciences
Moscow, Russian Federation*

²*Northwest Testing Laboratory, Federal State-Financed Institution
«Federal Centre for Animal Health»
Irkutsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: k.kuznetsova@fncps.ru

Received 13.09.2023

Submitted 27.10.2023

The article was published as part of the research topics No. FGUS 2022-0017 and No. FGUS 2022-0018 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS

Summary

This article presents the results of the effect of the antiparasitic drug ivermectin on biomass growth and survival of Black Soldier Fly larvae. The obtained results indicate that Black Soldier Fly larvae are not able to metabolise ivermectin. However, low concentrations of ivermectin in the substrate have no effect on larval development and survival and can be acceptable for rearing larvae as feed.

Abstract

Introduction. Manure treatment by Black Soldier Fly larvae (*Hermetia illucens*) is a perspective technology of waste utilization with protein production, which can be used for the feed additives industry. However, livestock products from agricultural animals can be contaminated by various antimicrobial and antiparasitic drugs. One of these drugs is ivermectin (IVM), which belongs to macrocyclic lactones and can be found in high concentrations in manure. The aim of this study was to investigate the effects of several concentrations of the antiparasitic drug IVM on biomass growth, Survival Rate (SR) and Bioconversion Efficiency Rate (BER) of the Black Soldier Fly (BSF) larvae. **Object.** The object of the study was BSF larvae. **Materials and methods.** The experiment was conducted at the All-Russian Research Institute of Food Additives. The larvae were raised on a substrate composed of wheat bran with an aqueous solution of IVM in the ratio of 1:2. C0-substrate with distilled water instead of the drug solution was used as a control sample. The studied concentrations of IVM: C1–0.1 mg/kg; C2–0.5 mg/kg; C3–2.5 mg/kg; C4–10 mg/kg. The larvae were fed on experimental substrates with IVM for ten days. **Results and conclusions.** The concentration of IVM >2.5 mg/kg substrate was found to significantly reduce the development of BSF larvae, with SR below 60%. In contrary, lower concentrations of IVM in the range of 0.1–0.5 mg/kg had a negligible effect on larval development, SR was 92%, IVM content in the larvae was $0.95 \pm 0.150 \mu\text{g/kg}$ and $4.2 \pm 0.500 \mu\text{g/kg}$ for C1 and C2, accordingly. We concluded that BSF larvae do not accumulate and do not metabolize this veterinary drug, and insect biomass obtained on substrates with low concentrations of ivermectin can be used for further production of feed products.

Key words: Black Soldier Fly larvae, *Hermetia illucens*, ivermectin, larval survival, insect biomass.

Citation. Kuznetsova K. G., Mechtaeva E. V., Zhuravleva A. Z., Chernov A. D., Kotova G. P., Sitnov V. Yu., Ryabukhin D. S. Effect of antiparasitic veterinary drug on survival and biomass rate of *Hermetia illucens* larvae. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 308-319 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-32.

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 661.155:595.772

**ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОПАЗИТАРНОГО ВЕТЕРИНАРНОГО ПРЕПАРАТА
НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ И ПРИРОСТ БИОМАССЫ ЛИЧИНОК
*HERMETIA ILLUCENS***

К. Г. Кузнецова¹, младший научный сотрудник

Е. В. Мечтаева¹, младший научный сотрудник

А. З. Журавлева¹, кандидат ветеринарных наук, заместитель директора

А. Д. Чернов², заместитель руководителя

Г. П. Котова¹, младший научный сотрудник

В. Ю. Ситнов¹, директор

Д. С. Рябухин¹, кандидат химических наук, заведующий лабораторией

¹ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН

г. Москва, Российская Федерация

²Северо-Западная испытательная лаборатория,
ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных»
г. Иркутск, Российская Федерация

Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS 2022–0017 и № FGUS 2022–0018 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук

Актуальность. Переработка навоза личинками черной львинки (*Hermetia illucens*) – перспективная технология утилизации отходов с получением протеина, который может быть использован для производства кормовых добавок. Однако продукты жизнедеятельности сельскохозяй-

ственных животных могут быть загрязнены различными антимикробными и противопаразитарными препаратами. Один из таких препаратов – ивермектин (ИВМ), который относится к макроциклическим лактонам и может содержаться в навозе в высоких концентрациях. Целью данной работы являлось изучить влияние нескольких концентраций противопаразитарного лекарственного средства ИВМ на прирост биомассы, выживаемость (Survival Rate, SR) и эффективность биоконверсии (Bioconversion Efficiency Rate, BER) черной львинки. **Объект исследования.** Объектом исследования являлись личинки мухи черная львинка. **Материалы и методы.** Эксперимент проведен на базе Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН. Личинки росли на субстрате из пшеничных отрубей с водным раствором ИВМ в соотношении 1:2. В качестве контрольного образца использовали субстрат С0 с добавлением дистиллированной воды, вместо раствора препарата. Исследуемые концентрации ИВМ: С1–0,1 мг/кг; С2–0,5 мг/кг; С3–2,5 мг/кг; С4–10 мг/кг. В течение десяти дней личинки питались экспериментальными субстратами с ИВМ. **Результаты и выводы.** Выявлено, что концентрация ИВМ >2,5 мг/кг субстрата значительно ингибирует развитие личинок черной львинки, выживаемость составила <60%. Напротив, невысокие концентрации ИВМ в диапазоне 0,1–0,5 мг/кг незначительно влияют на развитие личинок, выживаемость составила в среднем 92%, содержание ИВМ в самих личинках составило для С1 и С2 0,95±0,150 мкг/кг и 4,2±0,500 мкг/кг соответственно. Мы пришли к выводу, что личинки черной львинки не накапливают и не перерабатывают данный ветеринарный препарат, а биомассу насекомых, полученную на субстратах с невысокими концентрациями ивермектина, допустимо использовать для дальнейшего производства кормовых продуктов.

Ключевые слова: личинки черной львинки, *Hermetia illucens*, ивермектин, выживаемость личинок, биомасса насекомых.

Цитирование. Кузнецова К. Г., Мечтаева Е. В., Журавлева А. З., Чернов А. Д., Котова Г. П., Ситнов В. Ю., Рябухин Д. С. Влияние противопаразитарного ветеринарного препарата на выживаемость и прирост биомассы личинок *Hermetia illucens*. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 308-319. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-32.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. С ростом объемов производства продукции животноводства [1] все более актуальной задачей становится поиск нового эффективного способа утилизации продуктов жизнедеятельности (навоза) сельскохозяйственных животных (Российский рынок свинины – ключевые тенденции в 2020-2021 гг. <https://agrovesti.net/lib/industries/beef-cattle/rossijskij-rynok-svininy-klyuchevye-tendentsii-v-2020-2021-gg.html>). Традиционным способом утилизации навоза является компостирование с последующим внесением компоста в почву как удобрения [2]. Однако неправильное обращение с отходами животноводства способно привести к повышению выбросов парниковых газов в атмосферу и к вторичному загрязнению почвы ветеринарными препаратами.

Альтернативой компостированию является технология выращивания насекомых на биоотходах для кормовых целей, которая набирает все большую популярность во всем мире [3]. В исследовании Mertanat, A. [4] сообщалось, что выбросы парниковых газов в CO₂-экв от преобразования биоотходов с использованием насекомых (например, личинок черной львинки) были в 47 раз ниже по сравнению с выбросами, производимыми установкой для компостирования.

Личинки черной львинки (*Hermetia illucens*) относятся к семейству двукрылых, способны перерабатывать низкоценные фракции органических отходов, такие как навоз и побочные продукты пищевой промышленности [5, 6], и генерировать биомассу, которую можно использовать для производства кормовых продуктов, а полученный зоогузмус может быть использован в качестве органического удобрения [7–10].

Внедрение этой технологии получения кормового белка из насекомых способствует уменьшению зависимости от импортных кормовых продуктов с высоким содержанием белка из сои и рыбной муки [11].

Однако навоз может быть загрязнен различными лекарственными препаратами, которые используются в сельскохозяйственной ветеринарии, антимикробными веществами, пестицидами и противопаразитарными лекарственными препаратами (инсектицидами) [12]. Поэтому при использовании навоза для выращивания насекомых пристальное внимание должно уделяться способности накапливать различные ветеринарные препараты личинками черной львинки. Это позволит обеспечить высокое качество и безопасность производства кормовых добавок из насекомых для сельскохозяйственных животных.

Одним из распространенных ветеринарных препаратов является ивермектин, относящийся к макроциклическим лактонам [13]. В соответствии с ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» лекарственная форма ивермектина относится к 4 классу опасности. Ивермектин (ИВМ) применяют в сельском хозяйстве для профилактики и лечения животных от паразитических нематод, а также членистоногих, таких как клещи и вши [14].

В связи с неполным метаболизмом ивермектин может попадать в навоз сельскохозяйственных животных в высоких концентрациях [15]. Некоторые исследования подтверждают, что ИВМ, обнаруженный в навозе, может сохранять свое токсическое воздействие на живые организмы в течение четырех месяцев [16].

В статье [17] авторы изучали чувствительность личинок разных видов мух-падальщиков к ивермектину. Авторы пришли к выводу, что разные виды мух-падальщиков имели разные летальные концентрации ИВМ (от 0,05 до 18,55 мкг/кг навоза).

В другом исследовании проводился экотоксикологический анализ влияния сублетальных концентраций ивермектина на имаго желтой навозной мухи *Scathophaga stercoraria*. Авторы установили, что концентрации ИВМ 3 мг/кг является сублетальной для личинок желтой навозной мухи [18].

Влияние ивермектина в субстрате на развитие и выживаемость личинок черной львинки проводили Hoek-van Den Hil и соавторы [19]. Авторы исследовали влияние невысоких концентрации ИВМ (0,05 и 0,5 мг/кг корма) на черную львинку, но не проводили анализ сублетальной дозы настоящего ветеринарного препарата.

Помимо навоза, личинки черной львинки также способны утилизировать и продукты мясопереработки [20–22], в которых может обнаруживаться ИВМ. Поэтому, прежде чем начинать внедрение технологии утилизации агроотходов, которые потенциально могут содержать данный противопаразитарный препарат, необходимо выявить особенности его влияния на личинок черной львинки.

Основная цель исследования состоит в проведении анализа влияния противопаразитарного средства ИВМ в концентрациях от 0,1 до 10 мг/кг корма на прирост энтомологической массы и выживаемость личинок черной львинки; оценена способность черной львинки утилизировать ИВМ из субстрата для использования зоогумуса в качестве органического удобрения, а также определена сублетальная дозировка ИВМ для личинок черной львинки.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на базе лаборатории промышленных биотехнологических инноваций Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, г. Санкт-Петербург, Россия.

Подготовка личинок к эксперименту. Яйца личинок черной львинки инкубировали в лабораторном термостате ТС-80 (Россия) при влажности 70 ± 5 % и температуре 30 ± 2 °С. На третий день инкубации контейнеры с личинками были перенесены в климатическую комнату площадью $2,25 \text{ м}^2$, где непрерывно поддерживается температура 26 ± 2 °С и влажность 65 ± 5 %, фотопериод составил 12:12 часов (день : ночь).

Для эксперимента использовали шестидневных личинок, которых выращивали на исследуемых субстратах с разной концентрацией ИВМ в течение десяти дней. В первый день эксперимента в каждый контейнер поместили аликвоту личинок. Порядок расчета аликвоты: предварительно 250 особей было отсчитано вручную, затем личинок взвесили на лабораторных весах, процедуру повторяли три раза, полученное среднее значение $\pm \text{SE}$ ($0,715 \pm 0,029$ г) использовали для взвешивания аликвоты при постановке всего эксперимента. Личинок выращивали в контейнерах ДхШхВ 138х102х58 мм в климатической комнате.

Приготовление экспериментальных растворов. Исследуемые концентрации ИВМ: С1=0,1 мг/кг; С2=0,5 мг/кг; С3= 2,5 мг/кг и С4= 10 мг/кг влажного корма. В качестве источника ИВМ использовали препарат «Иверсан» (ООО "НВЦ Агроветзащита", Россия), предназначенный для поения сельскохозяйственных животных, содержащий 4 г активного вещества в 100 мл лекарственного препарата. Чтобы достичь экспериментальных концентраций ИВМ в корме, к пшеничным отрубям добавляли по 100 мл предварительно подготовленного экспериментального раствора ИВМ с определенной концентрацией: С1=0,15 мг/л, С2=0,75 мг/л; С3=3,75 мг/л; С4=15 мг/л, в контрольную группу С0 добавляли 100 мл дистиллированной воды.

Исследуемые субстраты. Субстраты с разной концентрацией ветеринарного препарата состояли из пшеничных отрубей (ГОСТ 7169–2017 «Отруби пшеничные. Технические условия») и водного раствора лекарственного препарата в соотношении 1:2, средняя масса влажного корма в каждом контейнере составила 300 ± 3 г.

Ход эксперимента. Эксперимент проводили в трех параллелях ($n=3$). В каждый субстрат с заданной концентрацией ИВМ С1=0,5; С2=1; С3=2,5 и С4=10 мг/кг поместили $0,715 \pm 0,029$ г шестидневных личинок черной львинки. Длительность эксперимента составила десять дней. Взвешивание и визуальное наблюдение проводили ежедневно. Из каждого контейнера доставали 25–27 особей, очищали от остатков субстрата и взвешивали на аналитических весах AND GX-200 с точностью $\pm 0,0001$ г (Япония). После проведения процедуры взвешивания личинок помещали обратно в контейнер. Субстрат взвешивали на лабораторных весах ADAM HCB-2202, с точностью $\pm 0,01$ г (Великобритания).

Окончание эксперимента. К десятому дню эксперимента личинки, питавшиеся контрольным субстратом С0, начали постепенно темнеть и постепенно переходить на стадию предкуколки, это стало сигналом для прекращения эксперимента.

Все образцы личинок очищали от субстрата с помощью просеивания через сита, промывали, остатки влаги убирали с помощью фильтровальной бумаги. Просеянный зоогумус и образцы личинок замораживали в морозильной камере при температуре -18 °С и хранили до проведения анализов.

Анализы. Определение содержания ивермектина проводили по ГОСТ 34138–17 «Метод определения остаточного содержания макроциклических лактонов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием». Концентрацию ИВМ определяли в личинках и конечном зоогумусе в конце эксперимента. Влажность личинок, начального и конечного субстрата определяли по ГОСТ Р 54951–2012 «Корма для животных. Определение содержания влаги».

Обработка данных. Выживаемость SR (Survival Rate) рассчитывали как отношение всех личинок в начале эксперимента к количеству отобранных из зоогумуса личинок в последний день эксперимента [23]:

$$SR = \frac{N_{\text{лич.нач.}}}{N_{\text{лич.конеч.}}} * 100\%, \quad (1)$$

где $N_{\text{лич.нач.}}$ – количество личинок в одном контейнере в начале эксперимента, шт; $N_{\text{лич.конеч.}}$ – количество личинок, изъятых из субстрата в конце эксперимента, шт.

Эффективность биоконверсии BER (Bioconversion Efficiency Rate) каждой экспериментальной диеты рассчитана с поправкой на остаточный биогукус [24] по формуле (2):

$$BER = \frac{L_{\text{конеч}} - L_{\text{нач}}}{D_{\text{нач}} - R_{\text{конеч}}} \times 100, \quad (2)$$

где $D_{\text{нач}}$ – начальное количество субстрата, г; $R_{\text{конеч}}$ – конечное количество субстрата (биогукуса), г; $L_{\text{конеч}}$ – конечная масса личинок, г; $L_{\text{нач}}$ – начальная масса личинок, г.

Статистическую обработку данных и подготовку графических материалов проводили с применением программного компонента Microsoft Excel с надстройкой RealStatistics. Для показателей прироста биомассы, выживаемости и эффективности биоконверсии рассчитано среднее арифметическое результатов трёх параллельных экспериментов и стандартная ошибка среднего SE (Standart Error). Для выявления зависимости между концентрацией ИВМ в субстрате в начале эксперимента и концентрацией ИВМ в личинках после 10 дней кормления определяли коэффициент корреляции Пирсона.

Данные по изменению биомассы и выживаемости (SR) подвергались однофакторному дисперсионному анализу ($P = 0,05$), с проведением последующего апостериорного теста Тьюки-Крамера ($P < 0,05$).

Результаты и обсуждение. Полученные результаты о ежедневном изменении средней массы одной личинки представлены на рисунке 1. Для образцов С0 и С1 наблюдается классическая для личинок черной львинки сигмовидная кривая [25].

При выращивании на субстратах с разной концентрацией ИВМ самое высокое значение средней массы одной особи зафиксировано на девятый день эксперимента при выращивании на контрольном субстрате С0, оно составило $114,548 \pm 5,107$ мг; аналогично, для С1 самое высокое значение средней массы личинки было достигнуто на девятый день эксперимента и составило $101,403 \pm 6,716$ мг. Небольшое уменьшение массы в последний день кормления обусловлено постепенным переходом личинок на стадию предкуколок. У личинок С2, С3 и С4 наблюдалось угнетенное состояние и отсутствие прироста биомассы.

Для всех рационов в первые три дня эксперимента значимых различий в изменении биомассы обнаружено не было. На четвертый день эксперимента наблюдалось появление значимых различий в средних массах личинок на разных субстратах: парные сравнения при проведении апостериорного теста Тьюки-Крамера, результаты которого представлены в таблице 1, выявили статистически значимые различия для всех групп, кроме С2 и С3.

С пятого по десятый (последний) день эксперимента статистически значимые различия средней массы особи наблюдались на всех концентрациях, кроме С3 и С4.

На рисунке 1 у личинок на С3 виден небольшой рост массы одной особи, максимальное значение составило $4,240 \pm 0,268$ мг, однако в последний день средняя масса особи находилась на уровне $3,984 \pm 0,236$ мг. Это значение соответствует шестому-седьмому дню жизни личинок черной львинки или пятой стадии роста из семи возможных [25].

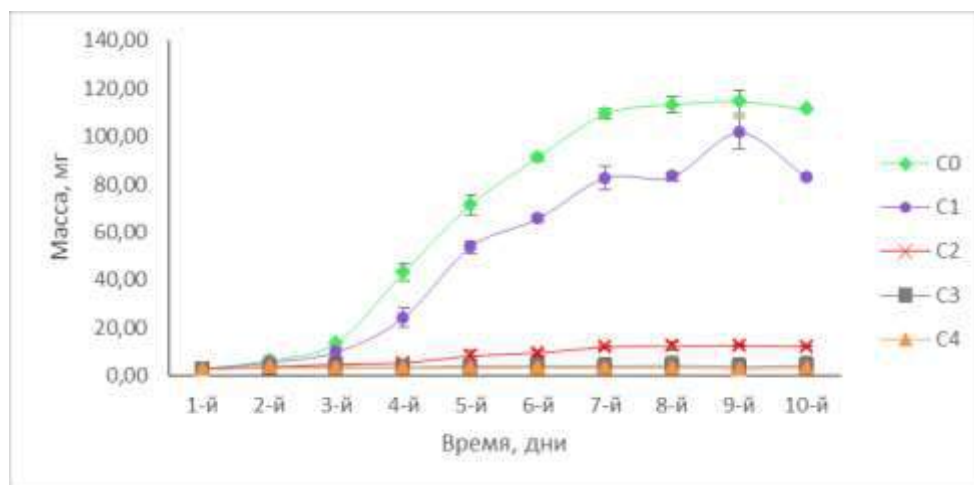


Рисунок 1 – Средняя масса одной личинки, выросшей на субстратах с разным содержанием ивермектина (значение±SE)

Figure 1 – Average mass of one larva grown on substrates with different ivermectin concentrations (Mean±SE)

Таблица – Средняя масса личинок, питавшихся экспериментальными субстратами с разной концентрацией ИВМ в мг (n=3, значение±SE)

Table – Average mass of larvae feeding on experimental substrates with different ivermectin concentrations in mg (Mean±SE)

Дни	C0	C1	C2	C3	C4
1-й	2,604*±0,014	2,628±0,031	2,535±0,031	2,573±0,015	2,624±0,084
2-й	6,240±2,080	5,383±0,325	3,747±0,667	3,212±0,070	3,500±0,056
3-й	13,622±0,222	9,730±1,797	4,581±0,062	3,498±0,414	3,029±0,248
4-й	43,106 ^a ±3,690	24,153 ^b ±3,701	5,294 ^c ±0,099	3,362 ^c ±0,347	2,959 ^d ±1,004
5-й	71,337 ^a ±4,126	53,785 ^b ±2,573	8,086 ^c ±2,345	3,789 ^d ±0,112	3,050 ^d ±0,412
6-й	91,163 ^a ±1,447	65,503 ^b ±1,674	9,413 ^c ±1,152	3,953 ^d ±0,303	3,223 ^d ±0,110
7-й	109,321 ^a ±2,710	82,544 ^b ±5,044	11,761 ^c ±0,882	3,728 ^d ±0,014	2,831 ^d ±0,077
8-й	113,331 ^a ±3,588	83,163 ^b ±1,914	12,197 ^c ±1,647	4,240 ^d ±0,268	3,201 ^d ±0,199
9-й	114,476 ^a ±5,068	101,403 ^b ±6,716	12,508 ^c ±2,122	3,494 ^d ±0,087	2,447 ^d ±0,106
10-й	111,326 ^a ±1,980	82,854 ^b ±3,031	11,979 ^c ±2,122	3,984 ^d ±0,236	3,016 ^d ±0,107

* – средние значения с разными надстрочными буквами в каждой строке значительно различаются ($P < 0,05$)

Для обнаружения зависимости между содержанием ИВМ в личинках в последний день эксперимента и средней массой одной особи проведен корреляционный анализ. Полученное значение ($r = -0,69$) так же свидетельствует об умеренно-сильной обратной зависимости средней массы от содержания ИВМ в одной особи.

Содержание ивермектина в субстрате и личинках черной львинки.

Содержание ИВМ определяли в личинках и конечном субстрате (зоогумусе), результаты анализа представлены на рисунках 2 и 3.

В личинках чёрной львинки, выращенных на контрольное диете (C0), а также в полученном в этом случае зоогумусе, ИВМ не обнаружен, поэтому C0 на графике не отображается.

Средние концентрации ИВМ в личинках на десятый день эксперимента составили C1=0,950±0,150 мкг/кг; C2=4,200±0,500 мкг/кг; C3= 7,900±0,400 мкг/кг и C4= 23,950±2,850 мкг/кг по сырому весу. Содержание ИВМ в зоогумусе было значительно выше: C1=0,017 мг/кг; C2=0,241 мг/кг; C3= 1,3758 мг/кг; C4= 2,5093 мг/кг (рисунок 2).

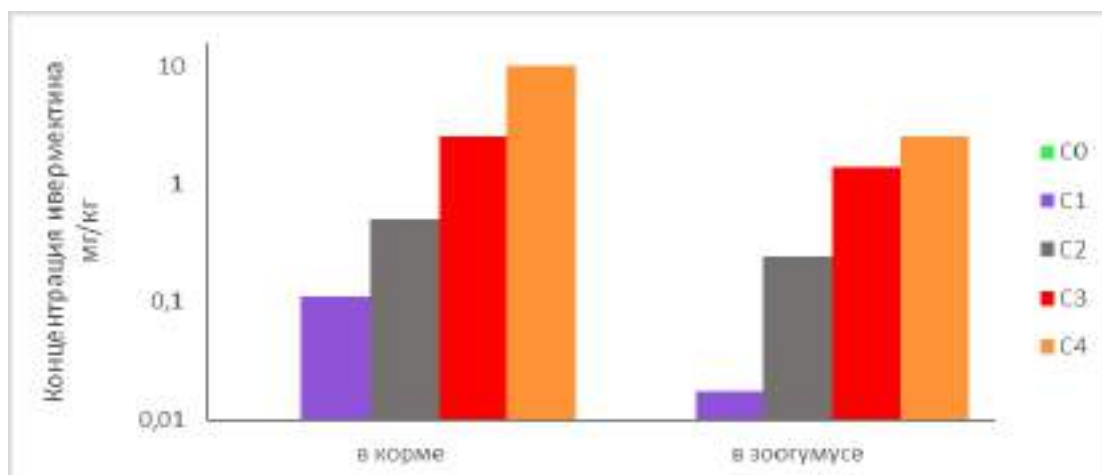


Рисунок 2 – Содержание ивермектина в корме и конечном субстрате (зоогумусе), мг/кг
Figure 2 – Ivermectin content in feed, larvae and final substrate (zoohumus), mg/kg

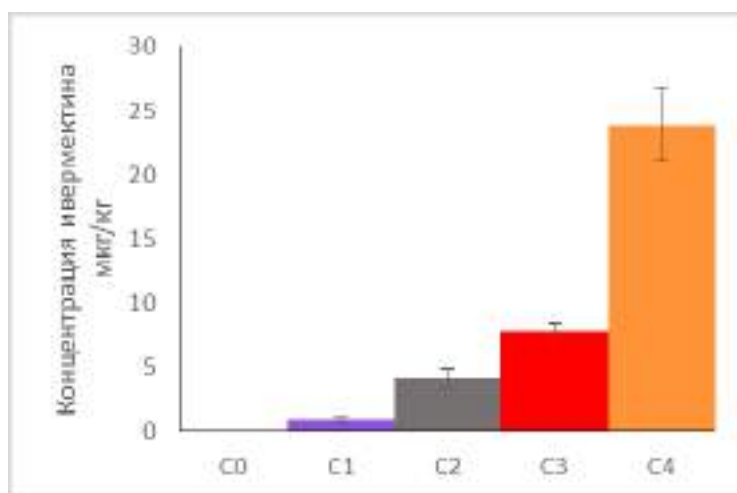


Рисунок 3 – Содержание ивермектина в личинках черной львинки, мкг/кг
Figure 3 – Ivermectin content in BSF larvae, µg/kg

Авторы исследования [19] обнаружили, что концентрации ИВМ в личинках, выросших на субстрате с концентрациями препарата 0,05 и 0,5 мг/кг, ориентировочно составили 5 мкг/кг, влияние других концентраций ИВМ в субстрате на личинок черной львинки не рассматривали. В настоящем исследовании для личинок, питавшихся субстратом C1 с концентрацией ИВМ 0,5 мг/кг, концентрация ИВМ в личинках составила $0,950 \pm 0,150$ мкг/кг.

Влияние ивермектина на выживаемость личинок и конверсию корма.

Концентрация ИВМ в субстрате влияет на уровень выживаемости. Самый высокий уровень выживаемости выявлен для контрольного образца C0 и составил $95,954 \pm 0,950\%$; сравнительно высокий уровень выживаемости также наблюдался для C2 и C3 и составил $93,965 \pm 4,446$ и $92,924 \pm 5,041\%$ соответственно (рисунок 3).

Из результатов апостериорного теста Тьюки-Крамера можно сделать вывод, что показатели выживаемости для C0, C1, C2 различались незначительно и составили $95,954 \pm 0,950\%$; $92,757 \pm 5,272\%$ и $92,924 \pm 5,041\%$ соответственно. Для C3 и C4 показатели выживаемости были значительно ниже и составили $57,668 \pm 1,116\%$ и $54,807 \pm 1,214\%$ соответственно.

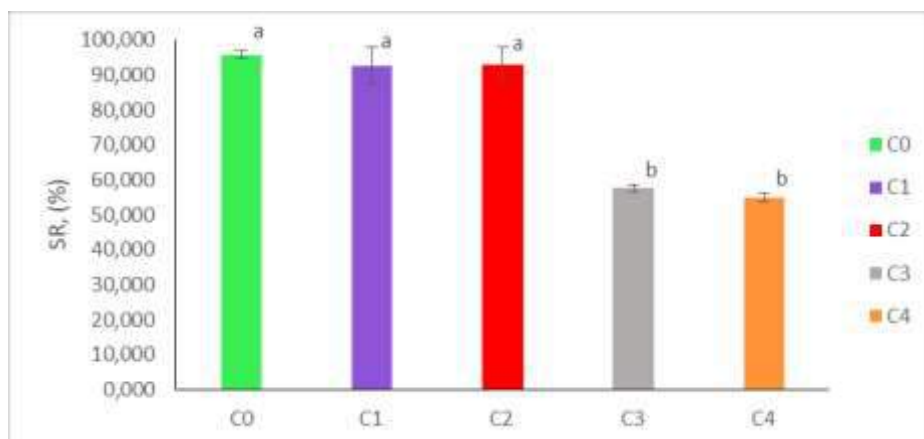


Рисунок 4 – Показатель выживаемости черной львинки (SR)
Figure 4 – Larval Survival Rate (SR)

Замедление развития личинок повлияло на эффективность конверсии корма BER (рисунок 5). Для C4 BER составил $-0,035 \pm 0,004\%$, отрицательное значение обусловлено тем, что личинки черной львинки не развивались на корме с концентрацией ИВМ 10 мг/кг и показывали низкий уровень выживаемости. Коэффициенты конверсии BER составили для C0= $12,285 \pm 0,323\%$; C1= $10,306 \pm 0,597\%$; C2= $1,268 \pm 0,312\%$; C3= $0,116 \pm 0,036\%$.

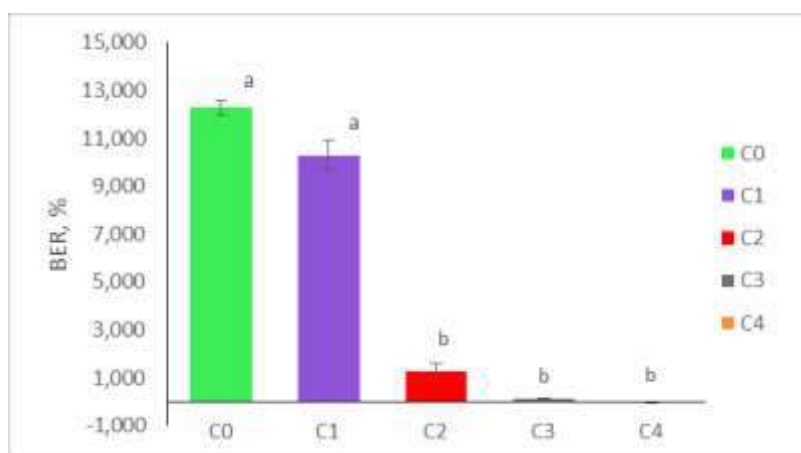


Рисунок 5 – Эффективность биоконверсии (BER)
Figure 5 – Bioconversion Efficiency Rate (BER)

Несмотря на отсутствие изменений в приросте биомассы, личинки черной львинки, питавшиеся субстратами с концентрацией ИВМ 2,5–10 мг/кг, показали уровень выживаемости выше 54%. Можно предположить, что концентрация ИВМ $>2,5$ мг/кг является сублетальной дозой для личинок черной львинки.

Заключение. Концентрация ивермектина <1 мг/кг корма незначительно влияет на прирост биомассы и уровень выживаемости личинок черной львинки. Исходя из этого черная львинка способна перерабатывать как навоз, так и продукты мясопереработки с указанной концентрацией данного лекарственного вещества, при этом личинка не накапливает ИВМ и его содержание в ней находится в диапазоне до 0,5 мкг/кг. Таким образом, субстрат с ИВМ может быть применен для кормления личинок черной львинки при условии его смешения с другими продуктами для создания многокомпонентной смеси. Получаемый в ходе процесса биоконверсии зоогумус содержит высокие концентрации ивермектина и не может быть использован в качестве органического удобрения.

Концентрации ИВМ >2,5 мг/кг корма оказывают пагубное влияние на рост, развитие и выживаемость личинок черной львинки. В ходе эксперимента мы наблюдали подавление развития личинок, они перестали потреблять корм и почти не проявляли признаков жизни. Можно предположить, что концентрация ИВМ >2,5 мг/кг являются сублетальной дозой для личинок черной львинки.

Conclusions. Ivermectin concentrations < 1 mg/kg feed have little effect on biomass gain and survival rate of Black Soldier Fly larvae. Based on this, the Black Soldier Fly is able to process both manure and meat processing products with the specified concentration of this drug substance, while the larva does not accumulate IVM and its content in it is in the range of up to 0.5 µg/kg. Thus, a substrate with IVM can be used to feed Black Soldier Fly larvae, provided it is mixed with other products to create a multi-component mixture. The zoohumus obtained during the bioconversion process contains high concentrations of ivermectin and cannot be used as an organic fertilizer.

IVM concentrations > 2.5 mg/kg feed have a detrimental effect on the growth, development and survival of Black Soldier Fly larvae. During the experiment, we observed suppression of the development of larvae; they stopped consuming food and showed almost no signs of life. It can be assumed that IVM concentrations > 2.5 mg/kg are a sub lethal dose for Black Soldier Fly larvae.

Библиографический список/References

1. Lozovaya O., Martynushkin A., Fedoskina I., Vanyushina O., Polyakov M., Anikin N. Management justification and applications of the personal approach at the enterprise of the AIC. In E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 284. P. 07010.
2. Holly M. A., Larson R. A., Powell J. M., Ruark M. D., Aguirre-Villegas H. Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2017. V. 239. Pp. 410–419.
3. Mutafela R. N. High value organic waste treatment via black soldier fly bioconversion: on-site pilot study. Master of Science Thesis. Stockholm, 2015.
4. Mertenat A., Diener S., Zurbrugg C. Black Soldier Fly biowaste treatment–Assessment of global warming potential. Waste management. 2019. V. 84. Pp. 173–181.
5. Zheng L., Hou Y., Li W., et al. Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. Energy. 2012. V. 47(1). Pp. 225–229.
6. Barragan-Fonseca K. B., Dicke M., van Loon J. J. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. Journal of Insects as Food and Feed. 2017. V. 3 (2). Pp. 105–120.
7. Moula N., Scippo M. L., Douny C., Degand G., Dawans E., Cabaraux J. F., Detilleux J. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. Animal Nutrition. 2018. V. 4 (1). Pp. 73–78.
8. Mohan K., Rajan D. K., Muralisankar T., Ganesan A. R., Sathishkumar P., Revathi N. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs. Aquaculture. 2022. V. 553. P. 738095.
9. Schiavone A., De Marco M., Martínez S., Dabbou S., Renna M., Madrid, J., Gasco L. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. Journal of animal science and biotechnology. 2017. No 8. Pp. 1–9.
10. Tomberlin J. K., Van Huis A. Black soldier fly from pest to ‘crown jewel’ of the insects as feed industry: an historical perspective. Journal of Insects as Food and Feed. 2020. No 6 (1). Pp. 1–4.
11. Heuel M., Sandrock C., Leiber F., Mathys A., Gold M., Zurbrugg C., Terranova M. Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. Poultry Science. 2021. V. 100 (4). P. 101034.
12. Meijer N., de Rijk T., van Loon J. J., Zoet L., Van der Fels-Klerx H. J. Effects of insecticides on mortality, growth, and bioaccumulation in black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. PloS one. 2021. V. 16 (4). e0249362.
13. Omura S. Ivermectin: 25 years and still going strong. International journal of antimicrobial agents. 2008. No 31 (2). Pp. 91–98.

14. Floate K. D. Off-target effects of ivermectin on insects and on dung degradation in southern Alberta, Canada. *Bulletin of Entomological Research*. 1998. V. 88 (1). Pp. 25–35.
15. Herd R. P., Sams R. A., Ashcraft S. M. Persistence of ivermectin in plasma and faeces following treatment of cows with ivermectin sustained-release, pour-on or injectable formulations. *International journal for parasitology*. 1996. No 26 (10). Pp. 1087–1093.
16. Sands B., Noll M. Toxicity of ivermectin residues in aged farmyard manure to terrestrial and freshwater invertebrates. *Insect Conservation and Diversity*. 2022. V. 15 (1). Pp. 9–18.
17. Blanckenhorn W. U., Puniamoorthy N., Schäfer M. A., Scheffczyk A., Römbke J. Standardized laboratory tests with 21 species of temperate and tropical sepsid flies confirm their suitability as bioassays of pharmaceutical residues (ivermectin) in cattle dung. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2013. No 89. Pp. 21–28.
18. Van Koppenhagen N., Gourgoulianni N., Rohner P. T., Roy J., Wegmann A., Blanckenhorn W. U. Sublethal effects of the parasiticide ivermectin on male and female reproductive and behavioural traits in the yellow dung fly. *Chemosphere*. 2020. V. 242. 125240.
19. Hoek-van Den Hil E. F., Van De Schans M. G. M., Bor G., Van Der Fels-klerx H. J. Effects of veterinary drugs on rearing and safety of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2022. No 8 (10). Pp. 1097–1106.
20. Kawasaki K., Ohkawa M., Zhao J., Yano K. Effect of dietary meat content on weight gain, mortality, and pre-pupal rate in black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Insects*. 2022. No 13 (3). P. 229.
21. Luperdi A. P., Flores-Calla S. S., Barriga X. J., Rivera V., Salazar I., Manrique P. L., Reátegui J. E. Bioprocessing of organic wastes from poultry and bovine slaughterhouses as food substrate for *Hermetia illucens* larval development. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2023. No 9 (1). Pp. 31–42.
22. Nguyen T. T., Tomberlin J. K., Vanlaerhoven S. Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*. 2015. No 44 (2). Pp. 406–410.
23. Dzepe D., Nana P., Kuietche H. M., Kimpara J. M., Magatsing O., Tchuinkam T., Djouaka R. Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. *SN Applied Sciences*. 2021. No 3. Pp. 1–9.
24. Bosch G., Oonincx D. G. A. B., Jordan H. R., et al. Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020. No 6 (2). Pp. 95–109.
25. Gligorescu A., Toft S., Hauggaard Nielsen H., Axelsen J. A., Nielsen S. A. Development, growth and metabolic rate of *Hermetia illucens* larvae. *Journal of Applied Entomology*. 2019. No 143(8). Pp. 875–881.

Информация об авторах

Кузнецова Ксения Геннадьевна, младший научный сотрудник, ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0001-5427-8532, e-mail: k.kuznetsova@fncps.ru

Мечтаева Елизавета Владимировна, младший научный сотрудник, ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0001-7879-7994, e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

Журавлева Айгуль Зарифовна, кандидат ветеринарных наук, заместитель директора по качеству, ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0009-0003-2683-269X, e-mail: aigul-zhuravleva@mail.ru

Чернов Александр Дмитриевич, заместитель руководителя Северо-Западной испытательной лаборатории, ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ») (Российская Федерация, 196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 15), e-mail: 4ern@inbox.ru

Котова Галина Петровна, младший научный сотрудник ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д.55), ORCID: 0009-0002-2920-7059, e-mail: info@vniipd.ru

Ситнов Вениамин Юрьевич, директор ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0003-1927-1997, e-mail: v.sitnov@fncps.ru
Рябухин Дмитрий Сергеевич, кандидат химических наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0001-5345-0038, e-mail: d.ryabukhin@fncps.ru

Author's Information

Kuznetsova Kseniia Genndyevna, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55) ORCID: 0000-0001-5427-8532, e-mail: k.kuznetsova@fncps.ru

Mechtaeva Elizaveta Vladimirovna, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), ORCID: 0000-0001-7879-7994, e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

Zhuravleva Aigul Zarifovna, PhD in veterinary science, Candidate of Veterinary Sciences, Deputy Director for Quality, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), e-mail: aigul-zhuravleva@mail.ru

Chernov Aleksandr Dmitrievich, Deputy Head of the North-West Testing Laboratory, Federal Center for Animal Health (Russian Federation, 196158, St. Petersburg, Moskovskoe shosse, 15), ORCID: 0009-0003-2683-269X, e-mail: 4ern@inbox.ru

Kotova Galina Petrovna, Junior Researcher of the All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), e-mail: info@vniipd.ru

Sitnov Veniamin Yurevich, the director of the All-Russian Research Institute of nutritional supplements – FGBNU branch "Federal scientific center of food systems of V. M. Gorbato" of RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), ORCID: 0000-0003-1927-1997, e-mail: v.sitnov@fncps.ru

Ryabukhin Dmitry Sergeevich, Candidate of Sciences in Chemistry, Head of the Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations of the All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), ORCID: 0000-0001-5345-0038, e-mail: d.ryabukhin@fncps.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-33

USE OF THE RUMIMIKS-3 PREMIX AS PART OF FEED MIXTURE FOR NON-MILKING COWS

K. Yu. Tarasova¹, N. N. Shvetsov¹, S. V. Chekhranova², S. I. Nikolaev², N. G. Chamurliiev²

¹*Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin
Belgorod, Russian Federation*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 12.09.2023

Submitted 30.11.2023

Summary

This article presents the results of studying the effectiveness of the use of the premix "RumiMix-3" as part of a feed mixture for dry cows. The experiment was conducted in the conditions of LLC "Borisov farms", Borisovsky district, Belgorod region. Studies have established the positive effect of the studied feed additive on the productive indicators and reproductive ability of cows.

Abstract

Introduction. Effective management of any branch of animal husbandry and in particular cattle breeding is impossible without the use of various balancing feed additives that have a positive impact on the preservation of the health of animals and the realization of their genetic potential for productivity. In this regard, the study of the effectiveness of the use of the premix "Rumimix-3" as part of a feed mixture for non-milking cows is relevant. **Object.** The object of the study was non-milking cows of Holstein black-and-white breed. **Materials and methods.** Scientific and economic experience was conducted in the conditions of LLC "Borisov farms", Borisovsky district, Belgorod region. 4 groups of cows were selected for the experiment, 7 heads in each group. The first control group received the main ration (RR) in the form of a feed mixture without the addition of the premix "Rumimix-3", the second, third and fourth groups received the same RR, but the specified premix was added to it in doses of 200, 250 and 300 g /head/day respectively. **Results and conclusions.** In the course of research, it was found that when feeding the studied premix, the feedability of the bark mixture increased by 1.8-4.1% in the first and second periods of non-milking equally. The use of the additive "Rumimix-3" in the non-milking period contributed to an increase in the average daily milk yields of lactating cows. The maximum yield was obtained in the third group of animals, where a premix dosage of 250 g /head /day was used. It was 4.3% higher than the control variant. The studied premix "Rumimix-3" had a positive effect on the reproductive ability of cows. In the experimental groups, all calves were born alive, in the control one calf was born dead. The live weight of the calf at birth in the experimental groups was greater than in the control by 0.4-0.8 kg. At the same time, it was maximum in the third group of animals. After the first insemination, the percentage of fertilized cows in the experimental groups was 14.2-28.5% higher than the control variant. And with this situation in these groups, there is also a lower consumption of seed doses for fruitful insemination, which significantly reduces the cost of cash for insemination of cows.

Key words: *premises, non-milking cows, live mass of calves, milk productivity of cows, cow insemination index, service period of cows.*

Citation. Tarasova K. Yu., Shvetsov N. N., Chehranova S. V., Nikolaev S. I., Chamurliiev N. G. Use of the RumiMiks-3 premix as part of feed mixture for non-milking cows. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 319-330. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-33.

Author's contribution. In this experiment, all authors took part in the planning, implementation, and analysis of the results of the research. The presented version of the article was approved by all authors.

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

УДК 636.2.087.74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕМИКСА «РУМИМИКС-3» В СОСТАВЕ КОРМОСМЕСИ ДЛЯ СУХОСТОЙНЫХ КОРОВ

К. Ю. Тарасова¹, аспирант

Н. Н. Швецов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

С. В. Чехранова², доктор сельскохозяйственных наук,

С. И. Николаев², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Н. Г. Чамурлиев², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина
г. Белгород, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Эффективное ведение любой отрасли животноводства, и в частности скотоводства, невозможно без использования различных балансирующих кормовых добавок, оказывающих положительное влияние на сохранение здоровья животных и реализации их генетического потенциала по продуктивности. В связи с этим изучение эффективности использования премикса «РумиМикс-3» в составе кормосмеси для сухостойных коров является актуаль-

ным. **Объект исследования.** Объектом исследования стали сухостойные коровы голштинизированной черно-пестрой породы. **Материалы и методы.** Научно-хозяйственный опыт проводился в условиях ООО «Борисовские фермы», Борисовского района, Белгородской области. Для опыта были отобраны 4 группы коров, по 7 голов в каждой группе. Первая группа, контрольная, получала основной рацион (ОР) в виде кормосмеси без добавления премикса «РумиМикс-3», вторая, третья и четвертая группы получали тот же ОР, но в него добавляли указанный премикс в дозах 200, 250 и 300 г/гол/сут соответственно. **Результаты и выводы.** В ходе исследований было установлено, что при скармливании изучаемого премикса повысилась поедаемость кормосмеси коровами в первый и второй период сухостоя одинаково на 1,8-4,1 %. Использование добавки «РумиМикс-3» в сухостойный период способствовало повышению среднесуточных удоев лактирующих коров. Максимальный удой был получен в третьей группе животных, где применялась дозировка премикса в количестве 250 г/гол/сут. Она была выше контрольного варианта на 4,3%. Изучаемый премикс «РумиМикс-3» оказал положительное влияние на воспроизводительную способность коров. В опытных группах все телята родились живыми, в контроле один теленок родился мертворожденным. Живая масса теленка при рождении в опытных группах была больше, чем в контроле, на 0,4 – 0,8 кг. При этом максимальной она была в третьей группе животных. После первого осеменения процент оплодотворенных коров в опытных группах был выше контрольного варианта на 14,2-28,5%. И при таком положении в этих группах отмечен также меньший расход доз семени на плодотворное осеменение, что заметно сокращает затраты денежных средств на осеменение коров.

Ключевые слова: премиксы, сухостойные коровы, живая масса телят, молочная продуктивность коров, индекс осеменения коров, сервис-период коров.

Цитирование. Тарасова К. Ю., Швецов Н. Н., Чехранова С. В., Николаев С. И., Чамурлиев Н. Г. Использование премикса «РумиМикс-3» в составе кормосмеси для сухостойных коров. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 319-330. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-33.

Авторский вклад. В данном эксперименте все авторы принимали участие в планировании, выполнении, а также анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен всеми авторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для обеспечения нормальной жизнедеятельности и высокой продуктивности современных пород сельскохозяйственных животных в первую очередь предъявляют повышенные требования к качеству их кормления. Выполнение этих требований можно обеспечить путем использования рационов, сбалансированных по всем основным питательным и биологически активным веществам, с применением высокоэффективных специальных добавок [2, 3, 7, 14]. К таким добавкам можно отнести премиксы.

Проведенные нами исследования по испытанию премикса «РумиМикс-3» в дозах 200, 250 и 300 г/гол/сутки для высокопродуктивных коров, находящихся в фазе раздоя, показали высокую эффективность указанного премикса. Молочная продуктивность коров увеличилась на 2,6 – 4,9%, количество прибыли на 3,3 – 6,8 и уровень рентабельности на 1,9 – 5,0% по сравнению с контролем, где этот премикс не применяли [8].

Поэтому мы задались целью изучить премикс «РумиМикс-3» в таких же дозировках, только на сухостойных коровах голштинизированной черно-пестрой породы. Получить данные о влиянии данного премикса на живую массу новорожденных телят, молочную продуктивность новотельных коров в начале лактации и некоторые показатели воспроизводительной функции животных.

Изучением премиксов занимались и другие исследователи [1, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13]. В опытах Горлова И. Ф. и других ученых [4] было отмечено положительное воздействие кормовых добавок «ЛактуВет» и «ЛактуСупер» на продуктивную способность коров и качественные показатели получаемого молока. Анализ эффективности добавок проводился в течение первых 90 дней лактации. Использование добавок поз-

волило повысить производительность коров-первотелок. Удои I опытной группы увеличились на 5,59 %, а II опытной группы – на 8,07 % по сравнению с показателями контрольной группы. Также положительное влияние кормовых добавок было установлено на качественные показатели получаемого молока. Сопоставив данные содержания жира в молоке контрольной и опытных групп, установили, что показатель в молоке коров I группы выше на 1,05 %, а показатель в молоке II группы – на 1,12 %, Количество белка в молоке в I опытной группе выросло на 1,33 %, а во II опытной группе – на 1,67 % по сравнению с показателем контрольной группы. Также было отмечено, что введение новых добавок способствовало увеличению показателей состава аминокислот молока-сырья, которое получили от коров-первотелок опытных групп.

Цель работы – изучение влияния премикса «РумиМикс-3» на поедаемость кормосмеси, определение оптимальной дозировки премикса для сухостойных коров, на живую массу новорожденных телят, молочную продуктивность новотельных коров в начале лактации и некоторые показатели воспроизводительной функции животных.

Объект исследования. Объектом исследования стали сухостойные коровы голштинизированной черно-пестрой породы.

Материалы и методы. Научно-хозяйственный опыт проводился на сухостойных коровах голштинизированной черно-пестрой породы, находящихся в условиях ООО «Борисовские фермы», Борисовского района, Белгородской области. Для опыта отобраны 4 группы коров, по 7 голов в каждой группе. Первая группа контрольная получала основной рацион (ОР) в виде кормосмеси без добавления премикса «РумиМикс-3», вторая, третья и четвертая группы получала тот же ОР, но в него добавляли указанный премикс в дозах 200, 250 и 300 г/гол/сут соответственно. Опыт проходил по следующей схеме (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Scheme of experience

Группа/ Group	Количество животных, голов/ Number of animals, heads	Особенности кормления/ Feeding features	Длительность опыта, сут/ Duration of the experience, day
1	7	ОР (солома пшеничная, силос кукурузный, сенаж из однолетних трав (ячмень+овес+горох), патока свекловичная, комбикорм КК-61) в виде кормосмеси / MR (wheat straw, corn silage, haylage from annual grasses (barley + oats + peas), beet molasses, compound feed KK-61) in the form of a feed mixture	45
2	7	ОР + 200 г/гол/сут премикса «РумиМикс-3»/ MR+ 200 g/goal/day of the premix "RumiMix-3"	45
3	7	ОР + 250 г/гол/сут премикса «РумиМикс-3»/ MR+ 250 g/goal/day of the premix "RumiMix-3"	45
4	7	ОР + 300 г/гол/сут премикса «РумиМикс-3»/ MR+ 300 g/goal/day of the premix "RumiMix-3"	45

При проведении исследований учитывали следующие показатели: поедаемость кормосмеси по периодам сухостоя, живую массу новорожденных телят, молочную продуктивность новотельных коров в начале лактации, содержание жира и белка в мо-

локе, количество оплодотворенных коров от первого осеменения, количество доз семени на плодотворное осеменение, продолжительность сервис-периода, экономические показатели в зависимости от применяемой дозы премикса.

Результаты и обсуждение. Сухостойный период коров (60 суток) подразделили на два периода. Первые 30 суток это был первый период сухостоя. Из них 15 суток отводилось для уравнительного периода, в котором всем группам скармливали кормосмесь без включения в нее изучаемого премикса «РумиМикс-3». Следующие 15 суток животных кормили по схеме опыта с использованием вышеназванного премикса (таблица 2).

Таблица 2 – Фактическое потребление кормосмеси сухостойными коровами в первый период (15 суток) сухостоя (кг/гол/сут)

Table 2 – Actual consumption of feed mixture by non-milking cows in the first period (15 days) of dead wood (kg/head/day)

Наименование корма/ Feed name	Группа/ Group			
	1	2	3	4
Солома пшеничная/ Wheat straw	2,1	2,2	2,4	2,3
Силос кукурузный/ Silage corn	16,2	16,3	16,5	16,4
Сенаж однолетних трав (ячмень+овес+горох)/ Haylage of annual grasses (barley+oats+peas)	6,5	6,6	6,8	6,7
Патока свекловичная/ Beet molasses	1,0	1,0	1,0	1,0
Комбикорм КК – 61/Compound feed КК – 61	2,25	2,25	2,25	2,25
Соль поваренная/ Table salt	0,08	0,08	0,08	0,08
Всего потреблено премикса «РумиМикс-3» в сутки/ Total consumed premix "RumiMix-3" in a day	-	0,2	0,25	0,3
Всего потреблено в сутки/ Total consumed per day	28,13	28,63	29,28	29,03
Задано в сутки/ Set per day	29,83	30,03	30,08	30,13

Можно отметить, что применяемый премикс «РумиМикс-3» повлиял на поедаемость кормосмеси. Максимальная поедаемость ее была отмечена в третьей группе животных, где премикс добавляли к кормосмеси в количестве 250 г/гол/сут. По сравнению с другими группами в третьей группе поедаемость кормосмеси была больше на 0,9-4,1%.

Во второй период сухостоя (30 суток), применяемую кормосмесь несколько видоизменили (таблица 3).

Сократили количество заданного силоса кукурузного на 3 кг, но увеличили долю сенажа и комбикорма КК – 61 соответственно на 1 и 1,35 кг. Фактическая поедаемость кормосмеси в этот период максимальной была также в третьей группе. Она была больше, чем в других группах на 0,9 – 4,1%.

Воспроизводительная способность коров отражена в таблице 4. По результатам таблицы 4 можно отметить, что изучаемый премикс «РумиМикс-3» положительно влияет на воспроизводительную способность коров. В контрольной группе, где премикс не применяли в составе кормосмеси, один теленок родился мертворожденным. В других группах все телята родились живыми.

Таблица 3 – Фактическое потребление кормосмеси сухостойными коровами во второй период (30 суток) сухостоя (кг/гол/сут)

Table 3 – Actual consumption of feed mixture by non-milking cows in the second period (30 days) of dead wood (kg/head/day)

Наименование корма/ Feed name	Группа/ Group			
	1	2	3	4
Солома пшеничная/ Wheat straw	2,2	2,3	2,5	2,4
Силос кукурузный/ Silage corn	13,3	13,4	13,6	13,5
Сенаж однолетних трав (ячмень+овес+горох)/ Haylage of annual grasses (barley+ oats+peas)	7,6	7,7	7,9	7,8
Патока свекловичная/ Beet molasses	1,0	1,0	1,0	1,0
Комбикорм КК – 61/Compound feed КК – 61	3,60	3,60	3,60	3,60
Соль поваренная/ Table salt	0,08	0,08	0,08	0,08
Всего потреблено премикса «РумиМикс-3» в сутки/ Total consumed premix "RumiMix-3" in a day	-	0,2	0,25	0,3
Всего потреблено в сутки/ Total consumed per day	27,78	28,28	28,93	28,68
Задано в сутки/ Set per day	29,18	29,38	29,43	29,48

Таблица 4 – Воспроизводительная способность коров

Table 4 – Reproductive capacity of cows

Показатели/ Indicators	Группа/ Group			
	1	2	3	4
Коров в группе, голов/ Cows in the group, heads	7	7	7	7
Получено телят, голов/ Received calves, heads	6	7	7	7
Живая масса теленка при рождении, кг/ Live weight of a calf at birth, kg	35,7±0,20	36,1±0,16	36,5±0,25*	36,2±0,20
Количество оплодотворенных коров от первого осеменения, %/ Number of fertilized cows from the first insemination, %	42,9	57,1	71,4	71,4
Количество доз семени на плодотворное осеменение/ The number of doses of semen for fruitful insemination	2,33±0,32	1,75±0,28	1,40±0,19	1,75±0,29
Продолжительность сервис-периода, сут/ Duration of the service period, day	102±4,3	98±3,7	85±4,5	91±2,8

Примечание: * – $p < 0,05$

Живая масса теленка при рождении в опытных группах была больше, чем в контроле, на 0,4-0,8 кг. При этом максимальной она была в третьей группе животных – на 0,8 кг ($p < 0,05$). Тем самым можно отметить, что применяемый премикс «РумиМикс-3» оказал положительное влияние на рост и развитие телят в утробе матери.

Дальнейшие наблюдения за новотельными коровами также показали преимущества применения при кормлении сухостойных коров указанного премикса. Так, после первого осеменения процент оплодотворенных коров в опытных группах был выше контрольного варианта на 14,2–28,5%. И при таком положении в этих группах отмечен также меньший расход доз семени на плодотворное осеменение. А это заметно сокращает денежные средства на осеменение коров.

Продолжительность сервис-периода (сут) также является важным показателем успешного воспроизводства животных. Последствия скормливания изучаемого премикса в сухостойный период сыграли определенную роль и способствовали сокращению сервис-периода в опытных группах на 4–17 суток. И наиболее желательный показатель был получен в третьей группе коров, где применяли дозу премикса в количестве 250 г/гол/сут. Надо отметить, что оптимальный сервис-период приветствуется в скотоводстве, от него зависит оборот стада.

Таким образом, применяемый премикс «РумиМикс-3» в изучаемых дозировках для сухостойных коров оказал положительное влияние на воспроизводительную функцию животных, то есть последствия его скормливания хорошо отразились на опытном поголовье.

В таблице 5 отражена молочная продуктивность новотельных коров в начале лактации (1 месяц). По результатам этой таблицы можно отметить, что последствия скормливания премикса «РумиМикс-3» сухостойным коровам положительно отразились в дальнейшем и на молочной продуктивности коров после их отела. Учет суточных удоев показал, что они были на высоком уровне и сохранилась динамика распределения их по группам. Максимальный удой был сохранен в третьей группе животных, где применялась дозировка премикса в количестве 250 г/гол/сут. Она была выше контрольного варианта на 4,3% ($p < 0,05$). Содержание жира и белка в молоке было во всех группах на высоком уровне с тенденцией сохранения наиболее высокого показателя в третьей группе животных, в которой скормливалась наиболее оптимальная доза премикса 250 г/гол/сут.

Таблица 5 – Молочная продуктивность новотельных коров в начале лактации (1 месяц) ($M \pm m$, $n=7$)

Table 5 – Milk productivity of first-time calving cow cows at the beginning of lactation (1 month)

($M \pm m$, $n=7$)

Показатели/ Indicators	Группа/ Group			
	1	2	3	4
Суточный удой фактической жирности, кг/ Average daily milk yield of actual fat content, kg	32,4±0,45	33,2±0,62	33,8±0,35*	33,4±0,71
В % к контролю/In % to control	100	102,5	104,3	103,1
Содержание жира в молоке, %/ Fat content in milk, %	3,71±0,07	3,73±0,06	3,75±0,08	3,74±0,06
Суточное количество молочного жира, г/ Daily amount of milk fat, g	1202,0	1238,4	1267,5	1249,2
В % к контролю/In % to control	100	103,0	105,4	103,9
Содержание белка в молоке, %/ Protein content in milk, %	3,45±0,05	3,47±0,08	3,49±0,07	3,48±0,06
Суточное количество молочного белка, г/ Daily amount of milk protein, g	1117,8	1152,0	1179,6	1162,3
В % к контролю/In % to control	100	103,1	105,5	104,0

Примечание: * – $p < 0,05$

В таблице 6 отражена эффективность использования премикса «РумиМикс-3» для сухостойных коров в составе кормосмеси (на 1 голову).

Комментируя таблицу 6, можно отметить, что период кормления сухостойных коров премиксом «РумиМикс-3» составил 45 суток. Первые 15 суток занимал уравнительный период, при котором все группы получали основной рацион без добавления в него изучаемого премикса. В главный период опыта потребление кормосмеси по груп-

пам было разным. Там, где скармливали премикс, увеличилась поедаемость кормосмеси по сравнению с контролем на 0,13-0,22 ц ЭКЕ. Максимальной она была в третьей группе коров, в которой применяли дозу премикса в количестве 250 г/гол/сут.

Таблица 6 – Эффективность использования премикса «РумиМикс-3» для сухостойных коров в составе кормосмеси (на 1 голову)

Table 6 – Efficiency of using the premix "Rumimix-3" for non-milking cows as part of a feed mixture (per 1 head)

Показатели/ Indicators	Группа/ Group			
	1	2	3	4
Период кормления, сут/ Feeding period, day	45	45	45	45
Потреблено кормосмеси, ЭКЕ, ц/ Feed mixture consumption, EFU, hundredweight	4,98	5,11	5,20	5,16
Стоимость потребленной кормосмеси, тыс. руб/ The cost of the consumed feed mixture, thousand rubles	9,92	9,95	10,02	9,99
Разница с контролем, руб/ The difference with the control, rubles	-	+30	+100	+70
Живая масса новорожденного теленка, кг/ Live weight of a newborn calf, kg	35,6	36,1	36,5	36,2
Стоимость новорожденного теленка, руб / The cost of a newborn calf, rubles	8544	8664	8760	8688
Прибыль или убыль по стоимости теленка с контролем, руб/ Profit or loss on the cost of a calf with control, rubles	- 8544 (1 гол мертворожденный)	+120	+216	+144
Прибыль за счет дополнительно полученного молока, руб/ Profit due to additional milk received, rubles	-	768	1344	960
Прибыль за счет экономии спермодоз, руб/ Profit due to spermodose savings, rubles	-	348	558	348
Всего получено прибыли за счет телят, молока и экономии спермодоз, руб/ Total profit received due to calves, milk and spermodose savings, rubles	-	9870	10778	10070
Стоимость потребленного премикса, руб/ The cost of the consumed premix, rubles	-	1161	1451	1741
Всего получено прибыли за вычетом стоимости премикса, руб/ Total profit received minus the cost of the premix, rubles	-	8709	9327	8329

Естественно повышенное потребление кормосмеси в опытных группах несколько увеличило в них стоимость потребленных кормов на 30-100 руб по сравнению с контрольным вариантом. Живая масса новорожденных телят имела групповые различия. В группах, где коровам скармливали изучаемый премикс, телята весили на 0,5-0,9 кг больше, чем их аналоги с контроля. Пересчет в стоимостное выражение показал, что телята опытных групп имели на 120-216 руб больше стоимость. При этом в контроле один теленок родился мертвым, и это составило убыток в 8544 рублей.

В опытных группах мы получили прибыль за счет дополнительно полученного молока, которая была на уровне 768-1344 рублей. В этих группах также установлена прибыль за счет экономии спермодоз, составившая 348-558 рублей.

Если сложить всю прибыль, полученную от телят, молока и экономии спермодоз, то в опытных группах она составляет от 9870 до 10778 рублей на голову. Однако за 45 суток сухостойного периода мы скармливали премикс «РумиМикс-3» и затратили финансовые средства в количестве 1161-1741 рублей. Поэтому за вычетом указанной

стоимости прибыль составила 8709-9327 рублей. При этом максимальная прибыль была получена в третьей группе коров, которым скармливали оптимальную дозу премикса «РумиМикс-3» 250 г/гол/сут. Она была больше других опытных групп на 7,1-12,0 %.

Выводы. Проведенные исследования на сухостойных коровах показали положительное действие премикса «РумиМикс-3» на живую массу новорожденных телят. В группах, где коровам скармливали изучаемый премикс, телята весили на 0,5-0,9 кг больше (или на 1,4-2,5%), чем их аналоги из группы контроля. Хорошо проявилось последствие скармливания изучаемого премикса в сухостойный период. Это стало видно по суточным удоям новотельных коров в начале раздоя. В опытных группах (второй, третьей и четвертой) они превосходили контроль на 2,5-4,3 %. При этом максимальное повышение удоя на 4,3 % было отмечено в третьей группе коров, которым скармливали указанный премикс в количестве 250 г/гол/сут. Эту дозу можно считать оптимальной, поскольку другие варианты проявили себя в меньшей степени. Содержание жира и белка в молоке было во всех группах на высоком уровне с тенденцией сохранения наиболее высокого показателя в третьей группе животных.

Также следует отметить благоприятное влияние премикса «РумиМикс-3» на воспроизводительную функцию коров. Повысился процент оплодотворенных коров от первого осеменения на 14,2-28,5. Понадобилось меньше доз семени на 0,58-0,93 для оплодотворения коров. Продолжительность сервис-периода сократилась на 4-17 суток.

Все вышеперечисленные преимущества стали экономически выгодными и способствовали возрастанию прибыли в опытных группах по сравнению с контрольным вариантом на 7,1-12,0 %.

Таким образом, при кормлении сухостойных коров выгодно применять в составе их кормосмеси премикс «РумиМикс-3». Это способствует повышению поедаемости кормосмеси, живой массы новорожденных телят, молочной продуктивности новотельных коров в начале лактации и некоторых показателей воспроизводительной функции животных. При этом оптимальной дозировкой применения премикса «РумиМикс-3» явилась 250 г/гол/сут.

Conclusions. Studies conducted on non-milking cows showed the positive effect of the RumiMix-3 premix on the living weight of newborn calves. In groups where cows were fed the premix under study, calves weighed 0.5-0.9 kg more (or 1.4-2.5%) than their control counterparts. The last effect of feeding the studied premix during the dry period showed itself well. This became evident in the daily impacts of first-time calving cows at the beginning of the strife. In the experimental groups (second, third and fourth), they exceeded control by 2.5-4.3%. At the same time, the maximum increase in yield by 4.3% was noted in the third group of cows fed the specified premix in the amount of 250 g/head/day. This dose can be considered optimal because other variants have shown themselves to a lesser extent. The fat and protein content of milk was high in all groups with a tendency to maintain the highest in the third group of animals.

It should also be noted the favorable effect of the RumiMix-3 premix on the reproductive function of cows. The percentage of fertilized cows from the first insemination increased by 14.2-28.5. It took fewer doses of seed by 0.58-0.93 for the fertilization of cows. The duration of the service period was reduced by 4-17 days.

All of the above advantages became economically beneficial and contributed to an increase in profit in the experimental groups compared to the control option by 7.1-12.0%.

Thus, when feeding non-milking cows, it is beneficial to use the RumiMix-3 premix as part of their feed mixture. This contributes to an increase in the eatability of the feed mixture, the live mass of newborn calves, the milk productivity of first-time calving cows at the beginning of lactation and some indicators of the reproductive function of animals. At the same time, the optimal dosage of the RumiMix-3 premix was 250 g/goal/day.

Библиографический список

1. Акифьева Г. Е., Гизатулин Р. Ф., Жетписбаева Х. Ш. Влияние гумитона на пищеварение, рост и развитие молодняка крупного рогатого скота. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2019. № 1. С. 30-37.

2. Машарова Н. С., Швецов Н. Н., Походня Г. С., Наумов М. М. Влияние БВМК "РумиМакс-Ц" на рост и рубцовое пищеварение телочек. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2020. № 2 (16). С. 78-86.
3. Иванова И. Е., Волынкина М. Г., Ковалева О. В., Петрова Ю. А. Влияние минерального премикса в рационе высокопродуктивных коров на обменные процессы в период раздоя. Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 129-134.
4. Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Сложенкина М. И. и др. Влияние новых кормовых добавок на продуктивность коров красной степной породы. Аграрный вестник Урала. 2023. № 4 (233). С. 61-69.
5. Чехранова С. В., Агапова О. Ю., Акмалиев Т. А., Ермолова Л. Ф. Влияние премиксов на молочную продуктивность коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 1 (29). С. 131-135.
6. Чехранова С. В., Николаев С. И., Ионов В. В., Куприянов С. Н. Влияние премиксов на рост и развитие молодняка крупного рогатого скота. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 3(209). С. 47-51.
7. Гаркушин Е. В., Шубина Т. П. Влияние витаминов и минералов на состояние здоровья и продуктивность крупного рогатого скота. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2021. № 1-1 (39). С. 38-41.
8. Тарасова К. Ю., Швецов Н. Н., Иевлев М. Ю., Иванов А. В. Молочная продуктивность коров при использовании в составе кормосмеси премикса «Румимикс-3». Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2023. № 2 (28). С. 127-130.
9. Николаев С. И., Волколупов Г. В., Чехранова С. В., Акмалиев Т. А. Премиксы на основе рыжикового жмыха в кормлении крупного рогатого скота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3 (39). С. 121-127.
10. Швецов Н. Н., Швецова М. Р., Походня Г. С. и др. Продуктивное действие рационов и регламентированного кормления в скотоводстве. Белгород: Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2022. 259 с.
11. Горлов И. Ф., Шахбазова О. П., Кобыляцкий П. С. и др. Совершенствование технологии выращивания молодняка крупного рогатого скота. Молочное и мясное скотоводство. 2014. № 4. С. 5-8.
12. Ahola J. K., Skow T. A., Hunt C. W., Hill R. A. Relationship between residual feed intake and end product palatability in longissimus steaks from steers sired by Angus bulls divergent for intramuscular fat expected progeny difference. Professional Animal Scientist. 2011. Vol. 27. № 2. Pp. 109-115.
13. Carter J. N., Ludden P. A., Kerley M. S., Ellersieck M., Herring W. O., Berg E. Intramuscular Fat Deposition in Steers Is Accelerated at a Set Body Weight. Professional Animal Scientist. 2002. Vol. 18. № 2. Pp. 135-140.
14. Nikolaev S. I., Randelin A. V., Karapetyan A. K., et al. The effect of mineral complexes on the growth intensity of young bulls for sustainable agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, 2022. P. 012026.

References

1. Akifieva G. E., Gizatulin R. F., Zhetpisbayeva H. S. Influence of humitone on digestion, growth and development of young cattle. Feeding farm animals and fodder production. 2019. № 1. Pp. 30-37.
2. Masharova N. S., Shvetsov N. N., Pokhodnya G. S., Naumov M. Influence of BVMK "Rumax-C" on calf growth and scar digestion. Topical issues of agricultural biology. 2020. № 2 (16). Pp. 78-86.
3. Ivanova I. E., Volynkina M. G., Kovaleva O. V., Petrov Yu. A. The influence of the mineral premix in the diet of highly productive cows on metabolic processes during the strife. Perm Agrarian Bulletin. 2018. № 2 (22). Pp. 129-134.
4. Gorlov I. F., Mosolova N. I., Skladenkina M. I., etc. Influence of new feed additives on productivity of red steppe cows. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. № 4 (233). Pp. 61-69.

5. Chehranova S. V., Agapova O. Yu., Akmaliev T. A., Ermolova L. F. Influence of premixes on dairy productivity of cows. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2013. № 1 (29). Pp. 131-135.
6. Chehranova S. V., Nikolaev S. I., Ionov V. V., Kupriyanov S. N. The influence of premixes on the growth and development of young cattle. *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2022. № 3 (209). Pp. 47-51.
7. Garkushin E. V., Shubina T. P. Effects of vitamins and minerals on the health and productivity of cattle. *Bulletin of the Don State Agrarian University*. 2021. № 1-1 (39). Pp. 38-41.
8. Tarasova K. Yu., Shvetsov N. N., Ievlev M. Yu., Ivanov A. V. Milk productivity of cows when using the Rumimix-3 premix as part of a feed mixture. *Topical issues of agricultural biology*. 2023. № 2 (28). Pp. 127-130.
9. Nikolaev S. I., Volkolupov G. V., Chehranova S. V., Akmaliev T. A. Premixes based on red cake in feeding cattle. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2015. № 3 (39). Pp. 121-127.
10. Shvetsov N. N., Shvetsova M. R., Pokhodnya G. S., etc. Productive effect of diets and regulated feeding in cattle breeding. *Belgorod: Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin*, 2022. 259 p.
11. Gorlov I. F., Shakhbazova O. P., Kobylatsky P. S., etc. Improving the technology of raising young cattle. *Dairy and meat cattle breeding*. 2014. № 4. Pp. 5-8.
12. Ahola J. K., Skow T. A., Hunt C. W., Hill R. A. Relationship between residual feed intake and end product palatability in longissimus steaks from steers sired by Angus bulls divergent for intramuscular fat expected progeny difference. *Professional Animal Scientist*. 2011. Vol. 27. № 2. Pp. 109-115.
13. Carter J. N., Ludden P. A., Kerley M. S., Eilersieck M., Herring W. O., Berg E. Intramuscular Fat Deposition in Steers Is Accelerated at a Set Body Weight. *Professional Animal Scientist*. 2002. Vol. 18. № 2. Pp. 135-140.
14. Nikolaev S. I., Randelin A. V., Karapetyan A. K., et al. The effect of mineral complexes on the growth intensity of young bulls for sustainable agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volgograd, 2022. P. 012026.

Информация об авторах

Тарасова Кристина Юрьевна, аспирант кафедры «Общей и частной зоотехнии», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ имени В. Я. Горина (Российская Федерация, 308503, Белгородская область, Белгородский район, пос. Майский, ул. Вавилова, д. 24), e-mail: kristinavajgandt@mail.ru

Швецов Николай Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Общей и частной зоотехнии», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ имени В. Я. Горина (Российская Федерация, 308503, Белгородская область, Белгородский район, пос. Майский, ул. Вавилова, д. 24), e-mail: vladimimik50@yandex.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

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

Чамурлиев Нодари Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Частная зоотехния», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Author's Information

Tarasova Kristina Yurievna, graduate student of the Department of General and Private Animal Engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Belgorod GAU named after V. Ya. Gorin (Russian Federation, 308503, Belgorod Region, Belgorod Region, village Maysky, Vavilova St., 24), e-mail: kristinavajgandt @ mail.ru

Shvetsov Nikolai Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of General and Private Livestock Engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Belgorod GAU named after V. Ya. Gorin (Russian Federation, 308503, Belgorod region, Belgorod region, village Maysky, Vavilova St., 24), e-mail: vladimirmik50@yandex.ru

Chehranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Feeding and Breeding Farm Animals, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiy, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

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, pr. Universitetskiy, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Chamurliiev Nodari Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Private Animal Science of the Volgograd State Agrarian University, (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiy, 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-34

HUNTING AS A WAY TO MANAGE INVASIVE ALIEN SPECIES

E. V. Netsvetova

State Institution "Nature"

Tula, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alliska83@mail.ru

Received 30.08.2023

Submitted 14.11.2023

Summary

The article presents the results of the evaluation of the effectiveness of hunting to combat invasive alien species (IAS) in the member countries of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Berne Convention, 1979). The research results showed that the report of 13 countries applying the norms of the European Code of Conduct on Hunting and IAS does not contain specific figures that allow us to conclude about its effectiveness. However, the analysis of the reports suggests that some positive results may be achieved in the future.

Abstract

Introduction. The diversity of indigenous wildlife is essential not only for maintaining the biological balance of ecosystems, but also for the economy. The threat to this is the penetration of alien species into places where they have not previously met. Non-native species do not always appear by chance. Sometimes they are intentionally introduced by humans into the natural environment, among other things, for economic reasons, for hunting and fishing, ornament and attractiveness, biological pest control. The consequences of such an introduction are unpredictable. They are often not calculable, even if thorough studies have been conducted and continue to be conducted. An alien species whose introduction or spread has been found to threaten or adversely affect biodiversity and related ecosystem services is called an invasive alien species (IAS). Since hunting is a way of controlling fauna, it can be used to combat IAS. **Object** of research is biological invasion. **Materials and methods.** Analysis of the norms of the Berne Convention (1979) and the Recommendations of the Standing Committee of the Convention, the European Code of Conduct on Hunting and IAS and the latest published report on its implementation. **Results and conclusions.** The Berne Convention (1979) and the Recommendations of the Standing Committee of the Convention, including the European Code of Conduct on Hunting and IAS contain many useful norms related to the management of alien species. However, Russia still acts as an observer in relation to the designated Convention. Nevertheless, it is difficult to draw a conclusion about the effectiveness of the application of the designated documents, since the report of 13 countries applying the norms of the European Code of Conduct in the field of Hunting, Hunting Management and IAS does not contain specific figures. However, his analysis suggests that some positive results may be achieved in the future.

Key words: *invasive alien species, IAS, IAS management, Convention for the Protection of Wild Fauna and Flora and Natural Habitats in Europe (Berne Convention, 1979), European Hunting Code of Conduct, hunting.*

Citation. Netsvetova E. V. Hunting as a way to manage invasive alien species. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 330-341 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-34.

Author's contribution. The authors of the article provided were directly involved in the planning of the experiment, the laying and conducting laboratory research. The obtained results were subjected to comprehensive agronomic and statistical analyses. Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

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

УДК 599.735.31: 574.472:574.91

ОХОТА КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ИНВАЗИВНЫМИ ЧУЖЕРОДНЫМИ ВИДАМИ

Е. В. Нецветова, заместитель руководителя

Государственное учреждение Тульской области «Природа»

г. Тула, Российская Федерация

Актуальность. Разнообразие аборигенной дикой природы имеет важное значение не только для поддержания биологического баланса экосистем, но и для экономики. Угрозой этому является проникновение чужеродных видов в места, где они ранее не встречались. Немежные виды не всегда появляются случайно. Порой они намеренно вселяются человеком в природную среду, среди прочего по экономическим причинам, для охоты и рыбалки, для украшения и привлекательности, биологической борьбы с вредителями. Последствия такой интродукции непредсказуемы. Они часто не поддаются расчету, даже если были проведены и продолжают проводиться тщательные исследования. Чужеродные виды, интродукция или распространение которых, как было установлено, угрожает биоразнообразию и связанным с ним экосистемным услугам или оказывает неблагоприятное воздействие на них, называются инвазивными чужеродными видами (ИЧВ). Поскольку охота – это способ управления фауной, то с помощью нее можно бороться с ИЧВ. **Объект исследования** – биологическая инвазия. **Материалы и методы.** Анализ норм Бернской конвенции (1979) и Рекомендаций Постоянного комитета Конвенции, Европейского кодекса поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и инвазивных чужеродных видов и последнего опубликованного отчета о его реализации. **Результаты и выводы.** Бернская конвенция (1979) и Рекомендации Постоянного комитета Конвенции, в том числе Европейский кодекс поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ, содержат много полезных норм, связанных с управлением чужеродными видами. Однако Россия до сих пор выступает в качестве наблюдателя в отношении обозначенной Конвенции. Вывод об эффективности применения обозначенных документов, тем не менее, сделать сложно, поскольку в отчете 13 стран, применяющих нормы Европейского кодекса поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ, не содержится конкретных цифр. Однако его анализ позволяет предположить, что некоторые положительные результаты могут быть достигнуты в будущем.

Ключевые слова: инвазивные чужеродные виды, ИЧВ, управление ИЧВ, Конвенция об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе, (Бернская Конвенция, 1979), Европейский кодекс поведения в сфере охоты, ведение охотничьего хозяйства.

Цитирование. Нецветова Е. В. Охота как способ управления инвазивными чужеродными видами. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 330-341. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-34.

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. Разнообразие аборигенной дикой природы имеет большое значение не только для поддержания биологического баланса экосистем, но и для экономики [5]. Угрозой этому является проникновение чужеродных видов в места, где они ранее не

встречались. Неместные виды не всегда появляются случайно. Порой они намеренно вселяются человеком в природную среду, среди прочего по экономическим причинам, для охоты и рыбалки, для украшения и привлекательности, биологической борьбы с вредителями [5]. Последствия такой интродукции непредсказуемы. Они часто не поддаются расчету, даже если были проведены и продолжают проводиться тщательные исследования. Во-первых, чужеродные виды во многих случаях демонстрируют большую приспособляемость к окружающей среде и, следовательно, могут распространяться за пределы биотопа, которым планировалось его ограничить. Во-вторых, они могут быстро распространяться, поскольку сдерживающие факторы (хищники, конкуренция и т. д.) часто отсутствуют или их очень мало; таким образом, это может стать причиной экологической и экономической катастроф, вызванных исчезновением отдельных или многих местных видов или даже всей экосистемы. В-третьих, ИЧВ могут передавать болезни нативным видам и даже людям. В-четвертых, могут изменить генетический состав местных популяций по причине гибридизации с ними [5, 15, 16]. Такие виды называют «инвазивные чужеродные виды» (ИЧВ).

Все это убеждает мировое сообщество в необходимости контролировать и регулировать внедрение неместных видов [5].

Многие знают, что охота – это в том числе рекреация в случае любительской и спортивной охоты, а не только добыча продукции охоты в целях личного потребления (п. 11 статьи 1 Закона «Об охоте ...» [8]). В случае регулирования численности это профилактика и борьба с болезнями животных и человека, снижение плотности населения животных с целью сохранения среды обитания, в том числе предотвращения потерь сельскохозяйственных полей и сохранения лесных культур. Это исследования в случае научного отстрела, насыщение охотугодий новыми видами или восстановление исчезнувших в случае акклиматизации, реакклиматизации и переселения. Это даже способ выживания в случае обеспечения ведения традиционного образа жизни. Однако все виды охот объединяет одно: охота – способ управления фауной. А значит, с помощью нее можно бороться с ИЧВ.

Цель исследования – выяснить эффективность охоты для борьбы с ИЧВ.

В соответствии с заданной целью поставлены следующие **задачи**:

- изучить международные нормы, связанные с охотой, охотничьим хозяйством и ИЧВ, в частности нормы Европейского кодекса поведения в сфере охоты и ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ;

- проанализировать опыт стран, применяющих Европейский кодекс поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ.

Материалы и методы исследования. Анализ норм Конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе (далее – Бернская конвенция, 1979; Конвенция), положений Рекомендаций Постоянного комитета Конвенции, Европейского кодекса поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ, а также анализ четвертого отчета о выполнении данного Кодекса по результатам информации, полученной от 13 стран.

Результаты. В 1979 году в г. Берне была принята Конвенция об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе (Бернская конвенция, 1979). В настоящий момент она ратифицирована пятьюдесятью одной страной [11, 17]. Согласно п. 2 раздела 3 Приложения к приказу Министерства природных ресурсов РФ от 6 апреля 2004 г. №323 Россия в отношении обозначенной Конвенции пока выступает в качестве наблюдателя [10].

Во исполнение статьи 13 Бернской конвенции был учрежден Постоянный комитет для достижения целей этой конвенции, включая, согласно п.1 статьи 14, подготовку рекомендаций Сторонам [1].

Одной из таковых является Рекомендация 57 от 1997 года [4]. В ней предложено Договаривающимся сторонам составить документированный национальный список неместных видов, обитающих в дикой природе, которые, как известно, являются инвазивными и (или) наносят вред другим видам, экосистемам, общественному здоровью или экономической деятельности. В приложении к обозначенной рекомендации есть Инструкция, содержащая в себе меры, которые могут быть сочтены целесообразными для контроля за интродукцией. Так, в ней дается определение «беглецам». Это организмы, принадлежащие к неместным видам (или их потомкам), которые были импортированы законно и выпущены на свободу случайно или преднамеренно, но без целенаправленного намерения заселения. Далее даются предложения по предотвращению такого побега, например: разработка строгих стандартов безопасности для вольеров, а также ящиков и клеток для транспортировки ИЧВ; закрепление требований, чтобы все учреждения, содержащие в неволе организмы, принадлежащие к неместным видам, имели лицензию; ведение реестра и внедрения соответствующей системы маркировки животных, чтобы в случае их побега можно было определить их происхождение; установление строгих правил на случай закрытия организации, содержащей ИЧВ, для предотвращения преднамеренного или случайного высвобождения таких организмов. Также в пп. 5 пункта 2 обозначенной инструкции содержится указание на разработку специальных правил для защиты определенных чувствительных районов (особо охраняемых природных территорий, островов, районов, признанных обладающими большим биологическим разнообразием или содержащих эндемичные виды) от сбежавших видов, таких как запрещение учреждениям содержать виды в неволе в этих районах или по соседству с ними или введение для таких учреждений еще более строгих условий безопасности, чем в других местах.

Далее в пункте 3 данная инструкция предлагает конкретные меры регулирования ИЧВ. Во-первых, отмену правовой защиты, которой пользуются определенные виды, интродуцированные без разрешения, и придание им особого правового статуса, с тем чтобы можно было принять необходимые меры по контролю и искоренению. В частности, следует предпринять шаги для обеспечения того, чтобы интродуцированные виды автоматически не охранялись законом, когда последний применяется ко всем видам, принадлежащим к определенной таксономической группе, с тем чтобы сделать юридически возможным их контроль (в списках охраняемых видов должна быть сделана прямая ссылка на охрану только нативных представителей). Во-вторых, предотвращение любой генетической консолидации между местными и инвазивными видами в окружающей среде и, при необходимости, содействие принятию любых активных мер контроля или искоренения. Дополнительно предлагается запрещение всех дальнейших выпусков путем публикации списка видов животных и растений, уже интродуцированных без разрешения, которые запрещено выпускать на волю в окружающую среду, и путем регулирования владения и транспортировки таких видов с целью содержания их в ограниченном пространстве, что сводит к минимуму риск побега; отнесение видов, интродуцированных без разрешения, к тем, охота на которые или уничтожение которых разрешены в любое время; введение обязательства уведомлять власти о присутствии в окружающей среде незаконных неместных видов и попытках их уничтожения; предоставление властям полномочий объявлять чрезвычайную ситуацию в области экологической безопасности, чтобы попытаться уничтожить виды, завезенные без раз-

решения; наделение административных органов полномочиями принимать меры по искоренению в случае незаконного внедрения; принятие планов по борьбе с видами, интродуцированными без разрешения, путем требования к землевладельцам, местным органам власти и центральной администрации осуществить предусмотренные нормативными актами меры по искоренению или ограничению численности определенных видов или по охране природных территорий, особенно охраняемых природных территорий и их окрестностей, от несанкционированного проникновения неместных видов. С целью упрощения доказывания незаконной интродукции пп. в пункта 4 Инструкции предлагает ввести обязательной регистрации и маркировки крупных инвазивных животных, содержащихся в неволе, с тем чтобы можно было легко идентифицировать их владельца.

В Рекомендации 77 от 1999 года [3] указано, что виды, интродуцированные на территорию государства, могут легко распространиться на соседние государства или целые регионы. Соответственно, ответственность за ущерб, который может быть причинен окружающей среде других государств лежит на том государстве, в котором произошла интродукция. В обозначенном документе содержится запрет в пределах границ Договаривающихся стран или на части их территории на преднамеренную интродукцию организмов, принадлежащих к неместным видам, с целью создания популяций этих видов в дикой природе, за исключением особых обстоятельств, когда им было предоставлено предварительное разрешение регулирующим органом, и только после оценки воздействия и консультаций с соответствующими экспертами. Также государствам напоминает, что методы уничтожения ИЧВ должны быть максимально избирательными, этичными и без жестокости, насколько это возможно, в соответствии с целью постоянного искоренения таких видов. Обращается внимание на то, что одичавшие животные домашних видов (например, домашние кошки, собаки, козы и т.д.) могут быть одними из наиболее агрессивных и наносящих ущерб чужеродных видов для природной среды, поэтому в некоторых обстоятельствах удаление (removal) таких животных является одним из вариантов управления. Рекомендация 77 содержит Приложение, в котором приведены примеры ИЧВ, которые оказались угрозой биологическому разнообразию. В нем указаны такие охотничьи виды животных, как американская норка (*Mustela vison*), ондатра (*Ondatra zibethicus*), пятнистый олень (*Cervus nippon*), енот (*Procyon lotor*), енотовидная собака (*Nyctereutes procyonoides*), канадский бобр (*Castor canadensis*).

Особый интерес представляет Рекомендация 166 от 2013 года [2]. В ней Постоянный комитет предлагает Договаривающимся странам при разработке добровольных кодексов по ИЧВ принять во внимание Европейский кодекс поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ (далее Кодекс) или, при необходимости составить свои национальные кодексы поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ. Также рекомендуется сотрудничать соответствующим образом с субъектами, вовлеченными в охотничью деятельность, в осуществлении и содействии распространению передовой практики и кодексов поведения, направленных на предотвращение интродукции, выпуска и распространения ИЧВ и управление ими [2].

В 2019 году Европейской федерацией охоты и охраны природы (FACE), членами Европейской федерации охоты и охраны природы (FACE) и Международной ассоциацией соколиной охоты и охраны хищных птиц (IAF) совместно был составлен 4-й отчет о выполнении Кодекса [7]. В нем подчеркнуто, что европейские охотники играют важную роль в борьбе с ИЧВ, соблюдая 7 его принципов:

1. Избегать преднамеренного и непреднамеренного выпуска новых инвазивных чужеродных видов дичи;

2. Избегать преднамеренного и непреднамеренного внедрения и распространения инвазивных чужеродных растений в качестве корма для дичи и укрытия;

3. Использовать чужеродные виды для пополнения запасов только в том случае, если они не инвазивны или завезены в древние исторические времена;

4. Выбирать источники для пополнения запасов из популяций с надлежащим контролем генетики и болезней;

5. Практиковать охоту с участием животных, сводя к минимуму риск их побегов и воздействия на местные виды;

6. Рассматривать искоренение и контроль как важные инструменты управления для борьбы с ИЧВ и поддерживать их внедрение, в том числе применительно к охотничьим видам;

7. Сотрудничать в программах мониторинга и надзора за ИЧВ [6, 7].

В отчете приняли участие 13 стран: Бельгия (Фландрия), Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Республика Ирландия, Италия, Мальта, Нидерланды, Словения, Швеция, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии. Он содержит в отношении каждого государства общий обзор, отражающий состояние дел с ИЧВ на его территории, список ИЧВ и собственно то, как реализуется каждый принцип Кодекса. Исключение составляют Республика Ирландия и Соединенное Королевство, в которых отсутствует отчет по принципам 1-5.

Итак, в Бельгии (Фландрии), Греции, Нидерландах, Франции выпуск чужеродных видов (в том числе охотничьих) запрещен законом. В Бельгии (Валлонии) разрешен выпуск серой куропатки (*Perdrix perdrix*), обыкновенного фазана (*Phasianus colchicus*) и кряквы (*Anas platyrhynchos*). В Швеции эти же представители чужеродных видов могут быть выпущены после разрешения землевладельца, если этот вид встречается или встречался в природе данной зоны. При этом в Шведских правилах охоты существует общий запрет на выпуск диких животных. Стоит обратить внимание, что обыкновенный фазан – единственный чужеродный вид, который можно легально разводить в Швеции. В Дании, за исключением обыкновенного фазана, выпуск чужеродных видов (в том числе охотничьих) запрещен законом. При этом, если охотники желают выпустить более 100 фазанов на площади меньше 100 га или более одного фазана на га на площади больше 100 га, землевладельцу необходимо принять меры по улучшению мест обитания дикой флоры и фауны. Эти меры должны быть направлены как минимум на два охраняемых вида и два охотничьих вида (из заранее определенного списка).

В Финляндии и Ирландии существует список чужеродных видов, интродукция которых запрещена. В Словении ввоз чужеродных охотничьих животных осуществляется только по разрешению министра, выданному на основании оценки рисков. При этом запрещается содержание и разведение животных на закрытой территории, если в случае их побега они могут образовывать гибриды с нативными видами. В Германии запрещается вселение кабана (*Sus scrofa*) и европейского кролика (*Oryctolagus cuniculus*). Для остальных видов необходимо разрешение ответственного органа.

Проблема ИЧВ является частью охотничьего экзамена во Франции и Словении. В Нидерландах частью экзамена по охоте является глава, посвященная управлению средой обитания и развитию биотопов, в которой охотникам предлагается использовать местные виды и уделять особое внимание биоразнообразию. На охотничьих курсах каждый охотник получает знания о воздействии ИЧВ и роли охотников в защите биоразнообразия и предотвращения ущерба экосистемам. В Германии для получения ли-

цензии на охоту требуется сдать экзамен по теории и практике, включающих проверку знаний биологии охотничьих животных, основных особенностей их экологии, а также законодательства и здоровья животных.

С целью управления наиболее агрессивными ИЧВ их добыча в части стран решена круглый год. Например, в Швеции можно добывать инвазивных хищников в любое время года. В Финляндии круглогодично охота открыта на енотовидную собаку и американскую норку. Многие охотничьи клубы государства организуют для своих членов соревнования по уничтожению этих видов, а некоторые даже выплачивают денежную премию за каждую добытую особь. В Ирландии награда назначена за добычу американской норки. Во Франции вне сезона охоты можно отстреливать канадскую казарку (*Branta canadensis*), енотовидную собаку, нутрию (*Myocastor coypus*), ондатру, енота и американскую норку, с учетом мест распространения европейкой норки (*Mustela lutreola*), выдры (*Lutra lutra*) и речного бобра (*Castor fiber*) и мер отлова, направленных на защиту перечисленных видов. В Германии практически во всех федеральных землях можно круглый год охотиться на енотовидную собаку, енота и американскую норку, за исключением охоты на взрослых особей, выращивающих щенков.

Существуют целые проекты по управлению конкретными ИЧВ. Например, в Дании это проекты по управлению енотовидной собакой и американской норкой, в рамках которых эти виды уничтожаются. Так, в проекте «Енотовидные собаки» участвует 25 охотников, получивших специальное образование и имеющих особые привилегии, например, право на пользование приборами ночного видения. Однако инвазивным видам птиц не уделяется должного внимания. Недавно в Дании был создан портал для сообщений о случаях обнаружения ИЧВ, которым пользуются как охотники, так и широкая общественность. С помощью него государство планирует реализовать так называемое раннее обнаружение ИЧВ, таких как енот. В Нидерландах действует национальная программа по искоренению ондатры, в которой иногда участвуют охотники. В Швеции успешно работает программа «Борьба с инвазивными енотовидными собаками в странах Северной Европы». В этом проекте участвуют местные охотники по всей стране, которым рекомендовано отстреливать енотовидных собак и енотов при встрече их на охоте, а также сообщать о встречах, в случае если эти виды были замечены не в угодьях. На Мальте Управление по охране окружающей среды и ресурсов запустило мобильное приложение для граждан «Фауна и флора». Благодаря ему общественность может определить ИЧВ и зарегистрировать его, отправляя через приложение фотографию с геоданными.

Во многих странах клубы и ассоциации охотников распространяют информацию об ИЧВ путем издания журналов и публикаций в Интернете. Ассоциация охотников Финляндии реализовала для охотников образовательный проект. Во Франции охотничьи федерации организуют учебные занятия для охотников по правилам уничтожения ИЧВ.

Нельзя забывать, что инвазия в сфере охотничьего хозяйства возможна и при проведении таких биотехнических мероприятий, как улучшение естественных кормовых условий, защитно-обзорных условий местообитаний. Поэтому необходимо предпринимать меры, которые могут быть использованы для сокращения или смягчения такого риска. Так, Фламандское правительство (Бельгия) поощряет организации, занимающиеся охотой, и охотников использовать местные виды растений при создании мест обитаний для дичи. Высаживание любых чужеродных видов не рекомендуется. В Дании составлен официальный список растений, которые запрещено сажать и распространять. Для кормления охотничьих животных в Финляндии используются в основном

местные виды растений. При использовании чужеродных видов их запрещено вывозить за пределы населенных пунктов или полей. Во Франции создание для диких животных ремизов, искусственных убежищ, улучшение водно-болотных и охотничьих угодий в целом, если они контролируются охотничьими федерациями, предпочтительно должно проводиться с использованием местных видов растений. Иногда могут использоваться и некоторые чужеродные виды, кроме тех, которые занесены в список инвазивных. Тем не менее использование всех видов растений, включенных в программу «Агрифауна» (например, фацелия пижмолистная (*Phacelia Tanacetifolia*), горчица сарептская, или русская (*Brassica Juncea*) и гречка посевная (*Fagopyrum esculentum*), разрешено в сельском, лесном и рыболовном хозяйстве. В Греции разрешено использовать только местные виды растений. Хотя в Германии существуют рекомендации по использованию аборигенных растений для улучшения среды обитания для охотничьих видов и видов, обитающих в сельскохозяйственных районах, различные композиции семян, предлагаемые с этой целью, содержат чужеродные виды растений, такие как, например, топианбур (*Helianthus Tuberosus*) или фацелия пижмолистная. В Италии виды растений, используемые для улучшения окружающей среды (лесовосстановление, ограждения, культуры для дикой природы и т. д.), обычно являются местными или сельскохозяйственными видами, например сельскохозяйственными культурами. В Нидерландах подкормка дичи ограничена. Так, можно подкармливать неинвазивными сельскохозяйственными культурами благородного оленя (*Cervus elaphus*), лани (*Dama dama*) и дикого кабана. Такая подкормка осуществляется в течение ограниченных периодов года в ограниченных количествах с целью привлечения копытных животных для мониторинга или управления ими. Подкормка других охотничьих видов животных в естественных условиях запрещена. В этой стране также опубликованы руководящие принципы по восстановлению среды обитания. Национальная лесная служба выращивает и продает деревья и кустарники с местными генетическими источниками и стимулирует использование этих пород на плантациях. В Словении запрещено использовать чужеродные растения для кормления дичи. В Швеции рекомендовано использовать в первую очередь местные виды растений.

Развитием Европейского кодекса поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ можно условно считать разработку Международной ассоциацией соколиной охоты и охраны хищных птиц (IAF) собственного Кодекса поведения в отношении соколиной охоты и ИЧВ, представленного в январе 2014 года [7, с. 36]. По сути это развитие принципа 5 Европейского кодекса поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ, в формулировку которого IAF внесла свой вклад.

Обсуждение. Вероятность непредсказуемых последствий в результате обогащения охотфауны за счет чужеродных видов и проведение некоторых биотехнических мероприятий, таких как создание ремизов, высадка кормовых полей, высока. Однако охотничье хозяйство может быть как источником инвазии, так и способом борьбы с ней. Ряд документов Бернской конвенции предлагает конкретные меры по управлению ИЧВ. К сожалению, для наглядной демонстрации их эффективности в отчете представлено мало цифр. Тем не менее, мы считаем необходимым учесть некоторые положения рассматриваемых документов и отразить это в национальном законодательстве. Например, разработать стандарты для мест содержания и разведения охотничьих ресурсов в полувольных условиях и искусственно созданной среды обитания (вольеров, загонов), разрешить охоту на ИЧВ в любые сроки и запретить автоматическую законодательную охрану некоторых видов. Такие варианты мер регулирования ИЧВ были предложены еще в 1997 году в приложении к Рекомендации 57.

Для реализации этого необходимо ввести в Закон «Об охоте ...» новый вид охоты: охота в целях управления ИЧВ. Во-первых, обособление его от других видов охот, например, такого, как регулирование численности, подчеркнет его значимость. Во-вторых, для такой охоты можно будет установить иные правила. Например, отсутствие обязанности получения разрешения на добычу таких видов и охота на них круглый год. При этом поскольку согласно п.5 статьи 1 Закона «Об охоте ...» охота – это деятельность, связанная с поиском, выслеживанием, преследованием охотничьих ресурсов, их добычей, первичной переработкой и транспортировкой, то в перечень охотничьих ресурсов, поименованных в статье 11, необходимо включить часть 2.2 следующего содержания: «В целях управления ИЧВ к охотничьим ресурсам также относятся млекопитающие и (или) птицы, включенные в федеральный список ИЧВ, утвержденный федеральным органом исполнительной власти Российской Федерации, осуществляющим государственное управление в сфере природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Допускается отнесение к охотничьим ресурсам млекопитающих и (или) птиц, включенных в региональный список ИЧВ, утвержденный органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации в области природопользования и охраны окружающей среды». Соответственно, необходимо законодательно наделить названные органы полномочиями по ведению таких списков.

Здесь стоит отметить, что охотник, получая право охоты на ИЧВ без оформления разрешения на добычу, обязан четко знать биологию таких видов, включая их морфологические признаки. Для этого следует пройти специальное обучение. При этом проверка полученных знаний должна проводиться компетентными в этой области сотрудниками научных учреждений. В настоящее время это научные работники Российской академии наук.

По поводу автоматической законодательной охраны некоторых видов можно сказать следующее. Животный мир, в пределах территории РФ, согласно ч.1 статьи 4 Закона «О животном мире» [9], является собственностью государства. Согласно абз.2 статьи 1 названного закона, животный мир – это совокупность живых организмов всех видов диких животных, постоянно или временно населяющих территорию РФ и находящихся в состоянии естественной свободы, а также относящихся к природным ресурсам континентального шельфа и исключительной экономической зоны РФ. В настоящее время государство никак не регулирует отношения по ИЧВ, включая инвазивных животных, в том числе охотничьих видов. В итоге их уничтожение будет квалифицироваться как незаконная добыча объектов животного мира, не отнесенных к охотничьим ресурсам. Соответственно, создание списка ИЧВ было бы прогрессивным шагом для сохранения биоразнообразия в стране. Поскольку площадь, занимаемая государством, имеет внушительные размеры, то те виды, которые будут считаться инвазивными в одном регионе, могут не являться таковыми в другом. Соответственно, нужны как федеральный, так и региональные списки ИЧВ. Из перечисленных в Приложении к Рекомендации 77 в первый список должны включить ондатру, американскую норку, енота, канадского бобра; в региональные списки – пятнистого оленя (эндемик Приморья), енотовидную собаку (эндемик Уссурийского края и Амурской области).

Было бы верным при разработке национальных мер регулирования для управления ИЧВ учитывать некоторые положения Рекомендации 77. Например, о том, что методы искоренения должны быть максимально избирательными, этичными и без жестокости, насколько это возможно для достижения цели полного уничтожения ИЧВ. В своих работах мы уже рассматривали, что гуманность в странах Европы не противоречит умерщвлению, в частности отстрелу [12]. Так, в руководствах по борьбе с ИЧВ предусмотрены не смертельные (переселение, отлов и содержание в неволе, стерилизация) и

смертельные средства (использование капканов, отстрел, отравление, электрошок, эвтаназия) [13]. Собственно определение самого термина «управление», данное в статье 3 (17) Регламента ЕС №1143/2014, содержит указание на использование таких способов борьбы с ИЧВ: «управление» – любое летальное или неслетальное действие, направленное на искоренение, контроль над популяцией или сдерживание популяции ИЧВ, а также минимизацию воздействия на нецелевые виды и их среду обитания [14].

В России в настоящее время нет закона об ИЧВ. Среди населения отсутствует элементарное понимание опасности ИЧВ. В вузах, даже на профильных специальностях, нет предмета, в рамках которого говорилось бы об ИЧВ, хотя, на наш взгляд, это должен быть отдельный спецкурс. Проблема инвазий существует во многих сферах жизни, кроме охотничьего хозяйства: в рыбном, лесном, сельском хозяйстве, садоводстве, деятельности ботанических и зоологических садов, океанариумов, содержании домашних питомцев и т.д. Тем не менее никто в настоящее время не попытался инициировать принятие закона об ИЧВ. На наш взгляд, если бы ответственность за отстаивание позиции о необходимости принятия закона об ИЧВ взяло на себя охотсообщество, в массовом сознании могло бы измениться отношение к охоте: пришло понимание, что охотник – защитник природы. Однако есть серьезные основания считать, что российские охотники и охотпользователи не хотят признавать, что деятельность в области охотхозяйства является потенциально ответственной за внедрение ИЧВ.

Выводы. 1. Бернская конвенция и документы к ней, в частности Рекомендация Комитета Министров Совета Европы № R (84) 14, Рекомендация Постоянного комитета № 57 (1997), Рекомендация Постоянного комитета № 77 (1999), Рекомендация Постоянного комитета № 166 (2013) и Европейский кодекс поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ, содержат много полезных норм, связанных с управлением чужеродными видами. Однако Россия до сих пор выступает в качестве наблюдателя в отношении обозначенной Конвенции.

2. В отчете 13 стран, применяющих нормы Европейского кодекса поведения в сфере охоты, ведения охотничьего хозяйства и ИЧВ, не содержится конкретных цифр, позволяющих сделать вывод о его эффективности. Однако его анализ позволяет предположить, что некоторые положительные результаты могут быть достигнуты в будущем.

Conclusions. 1. The Berne Convention and its documents, in particular Recommendation of the Committee of Ministers of the Council of Europe №R (84) 14, Recommendation of the Standing Committee №57 (1997), Recommendation of the Standing Committee №77 (1999), Recommendation of the Standing Committee №166 (2013) and the European Code of Conduct in the Field of Hunting, The hunting economy and the IAS contain many useful norms related to the management of alien species. However, Russia is still acting as an observer in relation to the designated Convention.

2. The report of 13 countries applying the norms of the European Code of Conduct on Hunting and IAS does not contain specific figures that allow us to conclude about its effectiveness. However, his analysis suggests that some positive results may be achieved in the future.

Предложения. 1. В России требуется снять автоматическую охрану всех видов, путем закрепления в законе понятия ИЧВ и создания и ведения федерального списка ИЧВ и региональных списков ИЧВ. Наделение полномочиями по ведению таких списков соответственно Министерству природных ресурсов и экологии РФ и аналогичных органов исполнительной власти субъектов.

2. Включение в Закон «Об охоте...» нового вида охоты: охота в целях управления ИЧВ. Подготовка в правилах охоты раздела, регулирующего данный вид охоты. Установление срока охоты в отношении инвазивных видов «в течение года». Отсутствие обязанности оформлять разрешение на добычу ИЧВ. Правом на такую охоту должны обладать только лица, прошедшие специальное обучение и успешно сдавшие экзамен по проверке знаний об ИЧВ и способах борьбы с ними.

Suggestions. 1. In Russia, it is required to remove automatic protection of all types by fixing the concept of IAS in the law and creating and maintaining a federal list of IAS and regional lists of IAS. Granting the authority to maintain such lists, respectively, to the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation and similar executive authorities of the subjects.

2. The inclusion in the Law "About Hunting ..." of a new type of hunting: hunting for the management of IAS. Preparation of the section regulating this type of hunting in the Hunting Rules. Setting the hunting period for invasive species "within a year". Absence of the obligation to issue a permit for the extraction of IAS. Only persons who have undergone special training and have successfully passed an exam to verify knowledge about IAS and ways to combat them should have the right to such hunting.

Библиографический список

1. Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats (with appendices). Bern, 1979.
2. Recommendation № 166 (2013) of the Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. European Code of Conduct on Hunting and Invasive Alien Species. 2013.
3. Recommendation № 77 on the eradication of non-native terrestrial vertebrates. 1999.
4. Recommendation № 57 on the introduction of organisms belonging to non-native species into the Environment. 1997.
5. Recommendation № R (84) 14 of the Committee of Ministers Council of Europe to member states concerning the introduction of non-native species. 1984.
6. Monaco A., Genovesi P., Middleton A. European Code of Conduct on Hunting and Invasive Alien Species. Council of Europe, 2016. 40 p.
7. Report on the Implementation of The Code of Conduct on Hunting and Invasive Alien Species by FACE, FACE Members and IAF. 2019.
8. Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: ФЗ № 209-ФЗ.
9. О животном мире: ФЗ № 52-ФЗ.
10. Об утверждении Стратегии сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов: приказ Министерства природных ресурсов РФ № 323.
11. Статус Конвенции о сохранении животного мира и природной среды обитания в Европе ETS № 104. Берн, 1979.
12. Нецветова Е. В. Гуманный подход к управлению дикой фауной: теория и практика (гуманность – понятие не универсальное). Современные проблемы охотоведения и сохранения биоразнообразия: материалы международной научно-практической конференции. Минск: Белгосохота, 2023. С. 120-124.
13. Smith K. G., Nunes A. L., Aegerter J., Baker S. E., Di Silvestre I., Ferreira C. C., Griffith M., Lane J., Muir A., Binding S., Broadway M., Robertson P., Scalera R., Adriaens T., Åhlén P-A., Aliaga A., Baert K., Bakaloudis D. E., Bertolino S., Briggs L., Cartuyvels E., Dahl F., D'hondt B., Eckert M., Gethöffer F., Gojdičová E., Huysentruyt F., Jelić D., Lešová A., Lužnik M., Moreno L., Nagy G., Poledník L., Preda C., Skorupski J., Telnov D., Trichkova T., Verreycken H., Vucić M. A manual for the management of vertebrate invasive alien species of Union concern, incorporating animal welfare. 1st Edition. Technical report prepared for the European Commission within the framework of the contract. 2022. № 07.
14. Regulation (EU) № 1143/2014 Of The European Parliament And Of The Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. Official Journal of the European Union. 2014. V. 57. Pp. 35-55.
15. Report from the Commission to the European parliament and the Council on the review of the application of Regulation (EU) № 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. Brussels, 2021.
16. Tu M. Assessing and Managing Invasive Species within Protected Areas. Protected Area Quick Guide Series. The Nature Conservancy, 2009. 40 p.
17. Presentation of the Bern Convention. <https://www.coe.int/en/web/bern-convention/presentation>.

References

1. Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats (with appendices). Bern, 1979.
2. Recommendation № 166 (2013) of the Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. European Code of Conduct on Hunting and Invasive Alien Species. 2013.
3. Recommendation № 77 on the eradication of non-native terrestrial vertebrates. 1999.
4. Recommendation № 57 on the introduction of organisms belonging to non-native species into the Environment. 1997.
5. Recommendation № R (84) 14 of the Committee of Ministers Council of Europe to member states concerning the introduction of non-native species. 1984.
6. Monaco A., Genovesi P., Middleton A. European Code of Conduct on Hunting and Invasive Alien Species. Council of Europe, 2016. 40 p.
7. Report on the Implementation of The Code of Conduct on Hunting and Invasive Alien Species by FACE, FACE Members and IAF. 2019.
8. About hunting and on the preservation of hunting resources and on amending certain legislative acts of the Russian Federation: Federal Law No. 209-FL.
9. About the animal kingdom: Federal Law No. 52-FL.
10. On the approval of the Strategy for the Conservation of Rare and Endangered Species of Animals, Plants and Fungi: Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 323.
11. Status of the Convention on the Conservation of Wildlife and Natural Habitat in Europe ETS No. 104. Bern, 1979.
12. Netsvetova E. V. Humane approach to the management of wild fauna: theory and practice (humanity is not a universal concept). Modern problems of hunting and biodiversity conservation: materials of an international scientific and practical conference. Minsk: Belgosokhota, 2023. Pp. 120-124.
13. Smith K. G., Nunes A. L., Aegerter J., Baker S. E., Di Silvestre I., Ferreira C. C., Griffith M., Lane J., Muir A., Binding S., Broadway M., Robertson P., Scalera R., Adriaens T., Åhlén P.-A., Aliaga A., Baert K., Bakaloudis D. E., Bertolino S., Briggs L., Cartuyvels E., Dahl F., D'hondt B., Eckert M., Gethöffer F., Gojdičová E., Huysentruyt F., Jelić D., Lešová A., Lužnik M., Moreno L., Nagy G., Poledník L., Preda C., Skorupski J., Telnov D., Trichkova T., Verreycken H., Vucić M. A manual for the management of vertebrate invasive alien species of Union concern, incorporating animal welfare. 1st Edition. Technical report prepared for the European Commission within the framework of the contract. 2022. № 07.
14. Regulation (EU) № 1143/2014 Of The European Parliament And Of The Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. Official Journal of the European Union. 2014. V. 57. Pp. 35-55.
15. Report from the Commission to the European parliament and the Council on the review of the application of Regulation (EU) № 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. Brussels, 2021.
16. Tu M. Assessing and Managing Invasive Species within Protected Areas. Protected Area Quick Guide Series. The Nature Conservancy, 2009. 40 p.
17. Presentation of the Bern Convention. <https://www.coe.int/en/web/bern-convention/presentation>.

Информация об авторе

Нецветова Елизавета Викторовна, заместитель руководителя ГУ ТО «Природа», руководитель подразделения особо охраняемых природных территорий Тульской области (Российская Федерация, 300903, г. Тула, пос. Косая гора, ул. Октябрьская, д. 1), ORCID ID: 0000-0001-5174-8447, e-mail: alliska83@mail.ru

Author's Information

Netsvetova Elizaveta Viktorovna, Deputy Head of the State Institution "Nature", Head of the division of specially protected natural territories of the Tula region (Russian Federation, 300903, Tula, village Kosaya Gora, Oktyabrskaya str., 1), ORCID ID: 0000-0001-5174-8447, e-mail: alliska83@mail.ru

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ/ AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-35

ON THE EVE OF THE DRYING CYCLE: A SCIENTIFIC APPROACH TO THE SUBSTANTIATION OF LAND IRRIGATION IN ALTAI

V. N. Shchedrin¹, L. N. Medvedeva², V. V. Konash³

¹*FGBNU All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after
A. N. Kostyakov*

Moscow, Russian Federation

²*Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture"
Volgograd, Russian Federation*

³*Limited Liability Company "Agidel"*

Volzhsky, Volgograd region, Russian Federation

Корреспондирующий автор E-mail: milena.medvedeva2012@yandex.ru

Received 23.07.2023

Submitted 25.09.2023

*The research was carried out as part of the implementation of the research topic FNFR-2022-0006
"Develop economic and mathematical models of sustainable functioning highly productive
ecologically balanced irrigated agricultural landscapes" A. N. Kostyakov" (Volgograd)*

Summary

The article presents materials that reveal the main aspects of the functioning of the reclamation complex of the Altai Territory. The conditions for the restoration of irrigation systems and the introduction of new irrigated lands into circulation are outlined; the role of investments, reclamation parks and the mechanism of public-private partnership in the development of agriculture and land reclamation is shown.

Abstract

Introduction. The relevance of the study is explained by the fact that under the influence of intensive human activity, the steppes and forest-steppes of Siberia were significantly transformed, a significant part of the area was transferred to the category of arable land and irrigated land. Ameliorative systems built in the 20th century, for the most part, are decommissioned or used in agriculture by 20%. According to the forecasts of Siberian scientists, by 2050 the water cycle should change and the water content of the rivers of the Upper Ob basin and the Ob-Irtysh interfluvium will increase by 1%, and the increasing aridization of agriculture in Western Siberia will entail the drying up of steppe lakes, an increase in the salinity of water bodies, and the appearance of significant areas of solonchaks. The ongoing global natural and climatic changes will become harbingers of catastrophic droughts and crop failures. **The purpose of the study** is to consider the main approaches and justify the development of land reclamation in the Altai Territory. **Object.** The objects of study were the natural and reclamation complex of the region, the Alei irrigation system with a reconstruction program and an increasing zone of irrigated lands. **Materials and methods.** The basis of the study was the results of the expeditions, analytical and statistical materials of the VNIIOZ-branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "FNTs VNIIGiM named after A. N. Kostyakov" (Volgograd), Federal State Budgetary Scientific Institution "FNTs VNIIGiM im. A. N. Kostyakov" (Moscow), Federal State Budgetary Institution "Department of Land Reclamation and Agricultural Water Supply in the Altai Territory" for the period 2013-2022. To determine the prospects for the development of irrigation systems and irrigated lands, investment projects, a situational analysis was used with predictive climate changes. Statistical data were processed using computer programs MS Office 2010, Statistica. **Results and conclusions.** In the course of the study, results were obtained confirming that on the eve of the "era of desiccation", the issue of reviving land reclamation in Altai,

the development of land reclamation investment projects with the mechanism of public-private partnership, is becoming very relevant. It is shown that the ongoing reconstruction of the Alei irrigation system, on the one hand, will increase the area of irrigated land, create conditions for increasing agricultural productivity, on the other hand, the experience gained justifies the mandatory use of environmentally friendly technologies that prevent the manifestation of side effects of land reclamation: salinization and waterlogging of lands, decrease in soil fertility.

Key words: irrigated agriculture, irrigation systems, soil salinization, reclamation parks, reconstruction of irrigation systems.

Citation. Shchedrin V. N., Medvedeva L. N., Konash V. V. On the eve of the drying cycle: a scientific approach to the justification of land irrigation in Altai. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 342-357 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-35.

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

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

УДК 502/504:631.6:631.67

В ПРЕДДВЕРИИ ЦИКЛА ИССУШЕНИЯ: НАУЧНЫЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НА АЛТАЕ

В. Н. Щедрин¹, академик РАН, доктор технических наук,
Л. Н. Медведева², доктор экономических наук, член-корреспондент РАН
В. В. Конаш³, соискатель, менеджер

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А. Н. Костякова»

г. Москва, Российская Федерация

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»
г. Волгоград, Российская Федерация

³ООО Агидель
г. Волжский, Волгоградская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения темы НИР FNFR-2022-0006 «Разработать экономико-математические модели устойчиво функционирующих высокопродуктивных экологически сбалансированных орошаемых агроландшафтов», ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград)

Актуальность исследования объясняется тем, что под влиянием интенсивной человеческой деятельности существенным образом были преобразованы степи и лесостепи Сибири, значительная часть площадей переведена в разряд пашен и орошаемых земель. Мелиоративные системы, построенные в XX веке в большей части выведены из эксплуатации или используются в сельском хозяйстве на 30%. По прогнозам сибирских ученых к 2050 году должен измениться водный цикл и увеличиться водность рек бассейна Верхней Оби и Обь-Иртышского междуречья на 1%, а усиливающаяся аридизация сельского хозяйства Западной Сибири повлечет за собой усыхание степных озер, повышение солености водоемов, появление значительных площадей солончаков. Происходящие глобальные природно-климатические изменения станут предвестниками катастрофических засух и неурожаев. **Цель исследования** – рассмотреть основные подходы и обосновать развитие мелиорации в Алтайском крае. **Объектами исследования** стали природно-мелиоративный комплекс региона, Алейская оросительная система с программой реконструкции и увеличивающейся зоной орошаемых земель. **Материалы и методы.** Основу исследования составили результаты экспедиций, аналитические и статистические материалы ВНИИОЗ - филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград), ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Москва), ФГБУ «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Алтайскому краю» за период 2013-2022 гг. Для определения

перспектив развития оросительных систем и орошаемых земель и инвестиционных проектов применялся ситуационный анализ с прогнозными климатическими изменениями. Статистические данные обрабатывались с помощью компьютерных программ MS Office 2010, Statistica. **Результаты и выводы.** В ходе исследования были получены результаты, подтверждающие, что в преддверии «эры иссушения» весьма актуальным становится вопрос возрождения мелиорации на Алтае, разработки мелиоративных инвестиционных проектов с механизмом государственно-частного партнерства. Показано, что проводимая реконструкция Алейской оросительной системы, с одной стороны, позволит увеличить площади орошаемых земель, создаст условия для увеличения продуктивности сельского хозяйства, с другой стороны, полученный опыт обосновывает обязательное применение природосберегающих технологий, препятствующих проявлению побочных эффектов мелиорации: засоления и заболачивания земель, снижения плодородия.

Ключевые слова: орошаемое земледелие, оросительные системы, засоление почв, мелиоративные парки, реконструкция оросительных сетей.

Цитирование. Щедрин В. Н., Медведева Л. Н., Конаш В. В. В преддверии цикла иссушения: научный подход к обоснованию мелиорации земель на Алтае. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 342-357. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-35.

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. Пояс активного сельскохозяйственного земледелия в наибольшей мере приурочен к зоне степей и лесостепей. Интенсивное природопользование сформировало *агроэкосистемы степей*, обеспечивающие относительное существование естественных организмов и постоянное воспроизводство сельскохозяйственных культур [1, 11]. В Европейской части России естественные степи изменены на 95%, в Сибири – 70% (рисунок 1).



Рисунок 1 – Природные зоны Российской Федерации

Figure 1 – Natural areas of the Russian Federation

На территории Алтайского края степи располагаются на площади более 90 тыс. км², занимают Бийско-Чумышскую возвышенность и Приобское лессовое плато. Большая часть сухостепной зоны приурочена к Кулундинской равнине, которая подвержена антропогенной трансформации. В сельскохозяйственной структуре края пашни занимают – 60,1%, многолетние насаждения – 0,3%, сенокосы – 11,2%, пастбища – 25,4% (рисунок 2).



А – естественная степь, Б – сельскохозяйственные поля, В – степные солончаки

Рисунок 2 – Зона степей и сельскохозяйственных угодий Кулундинской равнины Алтайского края

Figure 2 – Zone of steppes and agricultural lands of the Kulunda Plain of the Altai Territory

Учеными Института водных и экологических проблем СО РАН, Томского университета, Алтайского государственного аграрного университета на основе полевых исследований и анализа спутниковых измерений были выведены закономерности, указывающие на увеличение водности у рек бассейна Верхней Оби и Обь-Иртышского междуречья к 2050 году на 1%, изменение периодов водного цикла 12-13 лет, для отдельных рек 7-8 и 5 лет; усиление аридизации Западной Сибири, способствующей усыханию степных озер, повышению солености водоемов, увеличению площади солончаков. Скорость обезвоживания почвы в совокупности с атмосферно-гидросферными процессами, протекающими в Северной Евразии, позволила обосновать в скором времени, наступление «эры иссушения» – прихода засух высокой интенсивности в Западную Сибирь, на Алтай [4, 9, 14, 17, 18, 23]. Последняя засуха была в Алтайском крае в 2012 году, от нее пострадало 3 млн га сельскохозяйственных посевов, а поскольку климат Сибири имеет циклический характер, то наступающий цикл меньшего увлажнения обязательно приведет к засухам, потерям урожая (рисунок 3) [20].

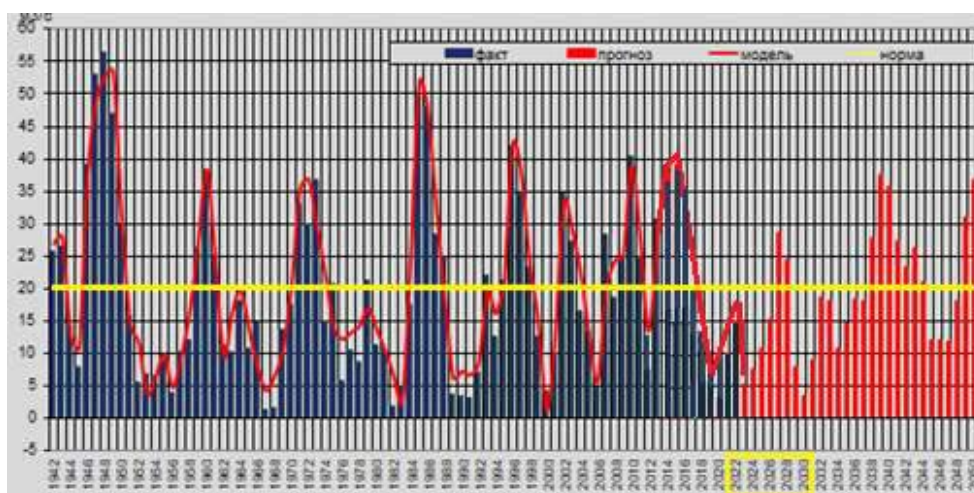


Рисунок 3 – Фоновая модель водности Обь-Иртышского междуречья (рассчитана по среднегодовым расходам р. Омь, м³/сек)

Figure 3 – Background water content model of the Ob-Irtysh interfluvium (calculated based on the average annual discharge of the Om River, m³/s, 2014-2019)

Учитывая складывающиеся природно-климатические условия, а также расчетные данные по циклу уменьшения влажности актуальным становится вопрос развития мелиорации земель с учетом имеющегося плачевного опыта, когда неконтролируемое

орошение приводило к засолению и заболачиванию значительных территорий. Цель исследования – рассмотреть основные подходы к развитию мелиорации в Алтайском крае на примере Алейской оросительной системы; обосновать необходимость использования комплексного подхода при проектировании орошаемых земель.

Материалы и методы. В основу исследований легли аналитические и статистические материалы ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Москва), ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград), ФГБУ «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Алтайскому краю» период 2013-2022 гг. Для выявления закономерностей и разработки организационно-управленческих решений применялись процессный, системный и ситуационный анализ. Статистические данные обрабатывались с помощью компьютерных программ MS Office 2010, Statistica 13. С помощью интегральных показателей описывались модели орошаемых агроландшафтов: оценка среды – выбор – воздействие – изменения – результат, обосновался комплекс мероприятий на мелиорированных землях. Объектами исследования стали: сельское хозяйство с мелиоративным комплексом Алтайского края, Алейская оросительная система зоной орошаемых земель в Рубцовском районе Алтайского края, инвестиционные проекты орошаемого земледелия. Мелиорация на Алтае начала развиваться в конце XIX века, наибольшее развитие получила в 60-90 годах XX века. Постановление Совета Министров «О мерах по ускоренному развитию сельского хозяйства районов Кулундинской степи Алтайского края, Новосибирской области» способствовало интенсивному строительству оросительных систем и переводу земель в разряд орошаемых. По прогнозным расчетам мелиоративный фонд Алтайского края, с учетом водности рек, должен был к концу XX века включать 300 тыс. га орошаемых земель. Однако было введено в эксплуатацию лишь 180 тыс. га, из которых 100 тыс. га поливались из подземных источников. Сельское хозяйство Алтайского края развивается на основе государственных программ и частной инициативы. Программа «Развитие сельского хозяйства Алтайского края» (Постановление Администрации Алтайского края от 5 октября 2012 года N 523 с изменениями на 14 декабря 2022 г.) определила приоритеты развития, механизмы поддержки сельхозпроизводителей (таблица 1) [2, 7].

Таблица 1 – Основные сельскохозяйственные культуры и посевные площади Алтайского края, 01.01.2022 г, тыс. га

Table 1 – Main agricultural crops and sown areas, Altai Territory, 01.01.2022, thousand ha

Наименование	2018	2019	2020	2021	2022
1	2	3	4	5	6
Вся посевная площадь	5134,7	5146,9	5175,8	5251,3	5418,2
Зерновые и зернобобовые культуры, в том числе:	3240,4	3169,0	3289,3	3234,6	3353,1
пшеница	130,1	177,8	185,5	187,2	159,7
рожь	21,2	24,9	29,0	46,2	38,6
яровые зерновые и зернобобовые культуры, в том числе:	3087,9	2964,8	3073,3	2998,1	3150,0
пшеница	1729,9	1747,8	1812,7	1674,1	1703,1
ячмень	257,5	264,5	279,3	264,3	286,9
овес	395,9	316,7	306,1	293,9	260,5
кукуруза на зерно	8,4	10,2	9,2	11,5	12,4
зернобобовые	183,5	139,5	159,1	185,8	219,1
Технические культуры, в том числе:	1026,8	1185,3	1143,2	1340,5	1423,7

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
сахарная свекла	23,4	27,5	23,5	23,2	25,2
лен-долгунец	4,2	4,3	4,2	4,2	4,0
масличные культуры, из них:	998,6	1152,5	1114,0	1311,5	1393,5
подсолнечник на зерно	669,4	717,3	696,1	787,0	757,5
соя	115,4	149,5	131,5	135,2	138,9
картофель	31,7	29,6	28,3	26,5	26,3
овощи открытого грунта	6,3	6,0	5,7	5,5	5,5
Кормовые культуры, в том числе:	828,7	756,3	708,6	643,2	608,8
многолетние травы	503,3	460,6	422,6	379,7	364,8
однолетние травы	252,5	228,1	214,4	186,6	176,3
Площадь чистых паров	757,3	707,7	670,0	661,9	609,4

На развитие мелиорации, согласно Подпрограмме «Развитие мелиоративного комплекса Алтайского края» на период до 2025 года, выделено 56031,1 тыс. рублей, что должно позволить ввести в оборот 3,5 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения; провести культуртехнические мероприятия на 50 тыс. га земель; известкование кислых почв на 3,5 тыс. га пашни. Целенаправленные действия властей должны позволить сохранить в сельскохозяйственном обороте 15,91 тыс. га сельхозугодий края. В 2022 году на балансе ФГБУ «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Алтайскому краю» находилось 9 оросительных систем (ОС), пять из которых в стадии консервации [16].

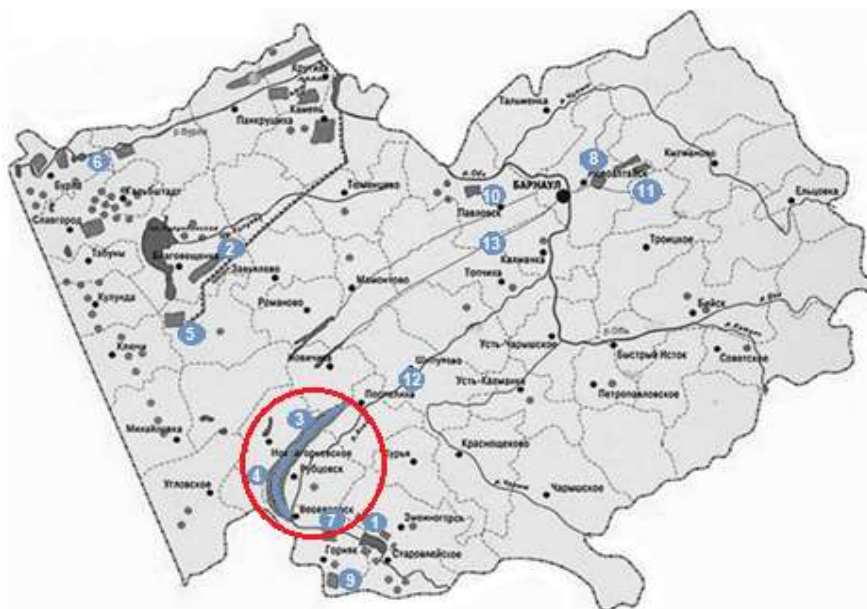


Рисунок 4 – Основные мелиоративные объекты Алтайского края, 2022 г.

Figure 4 – The main irrigation facilities of the Altai Territory, 2022

- 1 – Гилевское водохранилище, 2 – Кулундинский канал, 3,4 – Алейская оросительная система, 5 – Река Бурла и Бурлинский оросительный канал, 6 – Новотроицкий опытно-производственный массив, 7 – Локтевская оросительная система, 8 – Лосихинская оросительная система, 9 – Золотушинская оросительная система, 10 – Рогозихинская оросительная система, 11 – Чесноковская оросительная система, 12 – Шипуновская оросительная система, 13 – Павловская оросительная система

По проектным показателям федеральные мелиоративные системы должны обеспечить годовой объем забора воды в оросительные сети – 24,75 млн м³ (по факту – 2,06 млн м³), оросить – 31279 га земель (по факту – 1316 га). Площадь мелиорированных земель в Алтайском крае составляет – 69,784 тыс. га, из них, в хорошем состоянии – 38,337 тыс. га, удовлетворительном – 26,933 тыс. га, неудовлетворительном – 4,454 тыс. га [6, 8, 16]. На рисунке 4 и таблице 2 представлены основные объекты и показатели мелиоративного комплекса Алтайского края.

Таблица 2 – Показатели функционирования Федеральных мелиоративных систем
Алтайского края, 2022 г.

Table 2 – Functioning indicators of the Federal Irrigation Systems of the Altai Territory, 2022

Мелиоративные системы	Год ввода	Параметры системы	Зона обслуживания (район)	Площадь орошения, тыс. га		
				проектная	обслуживаемая	поливается
Алейская	1936–2021	р. Алей Q = 39 м ³ /с, LMK=100 км	Рубцовский Егорьевский Поспелихинский	21,620	9,473	0,638
Бурлинская	1991	р. Обь Q=25 м ³ /с, LMK = 30,4 км	Крутихинский	55	5,238	0
Больше-Черемшанская	1984	р. Больше-Черемшанка	Первомайский	1,005	1,005	0,155
Кулундинский МК	1983	р. Обь, Q = 25 м ³ /с, LMK = 182	Каменский, Тюменцевский Баевский, Родинский	25	10,623	0
Лосихинская	1981	р. Лосиха Водозабор – 507 м ³ /сек	Первомайский	0,584	0,987	0,375
Павловская	1992	Водозабор – 406 м ³ /сек	Павловский	0,560	0,443	0,148
Рогозинская	1986	Водозабор – 200 м ³ /сек	Павловский	0,848	0,848	0
Чесноковская	1980	Водозабор – 600 м ³ /сек	Первомайский	1,662	1,662	0
Шипуновская	1972	Водозабор – 1650 м ³ /сек	Шипуновский	1	1	0
Барнаульская	1970	р. Обь LMK = 209 км		0	0	0
Локальные ОС Кулундинской степи	1970	Подземные воды S≤1000 га		50	0	0
ГТС Бешенцевского гидроузла	1970	р. Малая Черемшанка	Первомайский	0	0	0
ГТС Гилевского гидроузла	1936	р. Алей	Лектевский	0	0	0
Всего				157,279	31,279	1,316

Примечание: Q – расход водозабора или пропускная способность канала, м³/с, LMK – длина магистрального канала, км, LMK – длина водоподводящего канала, LPS – длина распределительной сети, км, S – площадь единичного орошаемого участка, га

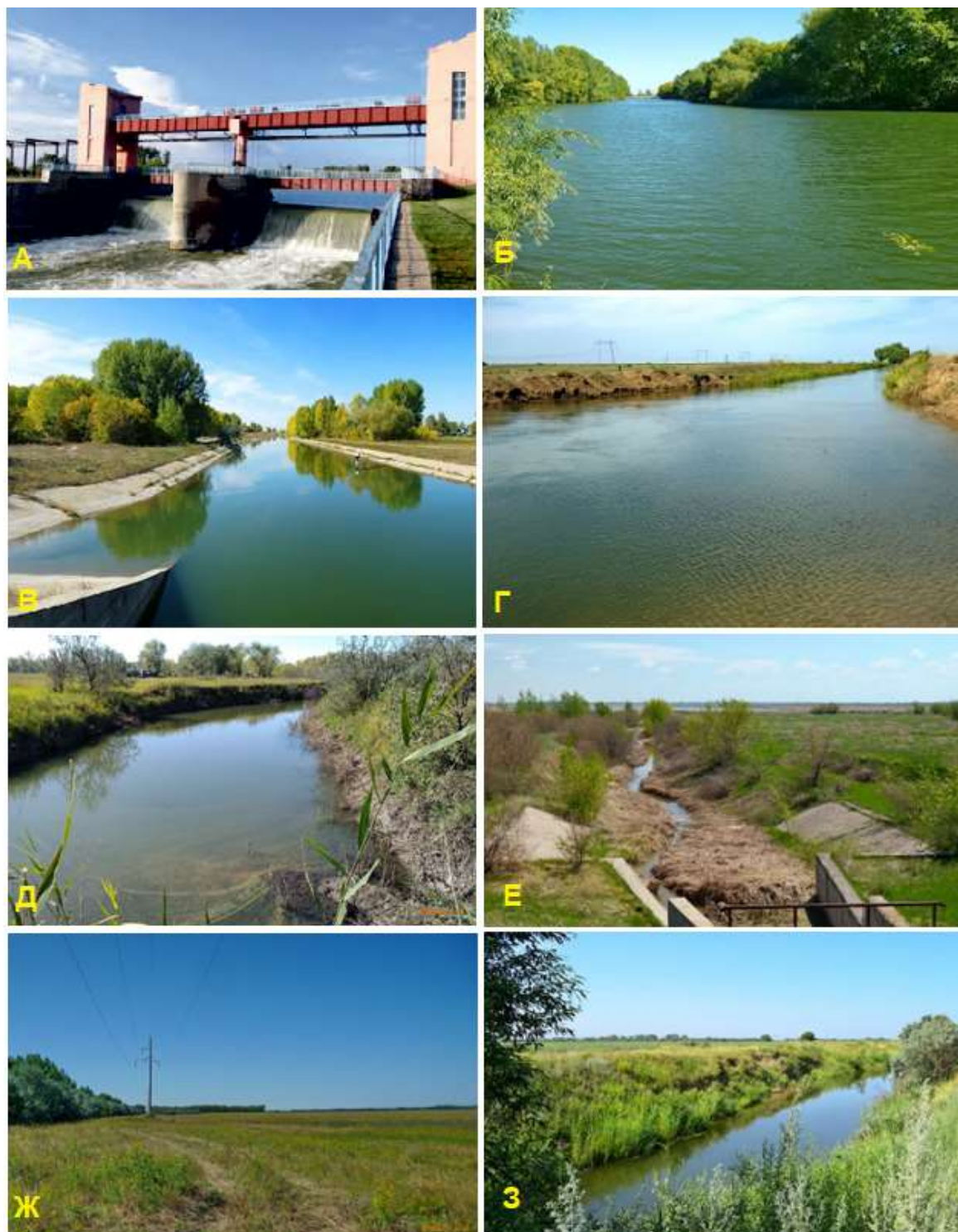


Рисунок 5 – Алейская оросительная система, Алтайский край, 2022 г.

Figure 5 – Aleiskaya irrigation system, Altai Territory, 2022

Фото: Глистин М., <https://rubtsovchanin.livejournal.com/7296.html>

А – Веселоярская водоподъемная плотина на р. Алей, Б – Водохранилище, В – Алейский магистральный канал, проходящий по Рубцовскому, Егорьевскому и Поспелихинскому районам, Г – Магистральный канал и сооружения в районе п. Куйбышево, Д – Магистральный канал около о. Горького, Е – Сливной канал, Ж – ЛЭП для подключения насосных станций, З – Завершение магистрального канала

Алейская оросительная система (АОС) была построена в Алтайском крае в 1930-1933 годах. По федеральной инвестиционной программе «Реконструкция Алейской оросительной системы» в 2019 году было освоено – 26,86 млн руб., в 2020г. – 131,15 млн руб., в 2022 г. – 4,1 млн руб. Оросительная система включает магистральный и распределительный каналы, коллекторно-дренажную сеть, насосные станции и Веселоярскую плотину, которая создает подпор реки Алей и запускает воду в Рубцовский магистральный канал. Годовая амплитуда колебания уровня в створе г. Рубцовска в среднем составляет – 2,3 м. Протяженность магистрального канала с юга на север составляет – 120 км, средняя глубина – 3 м, ширина – 6,0 м. Нормативные расчетные расходы канала: в начале – 6,46 м³/сек., в конце – 0,65 м³/сек [13]. За время эксплуатации расход воды в канале снизился до 0,12 м³/сек в связи с заиливанием и зарастанием русла, отсутствие дренажа привело к повышению уровня грунтовых вод с 8 –10 м до 1,5 – 2 м, обеспечило засоление почв [3]. Состояние и основные показатели Алейской федеральной оросительной системы на рисунке 5 и в таблице 3.

Таблица 3 – Основные показатели функционирования Алейской федеральной оросительной системы

Table 3 – The main indicators of the functioning of the Alei federal irrigation system

Наименование	2014	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Проектная площадь, обслуживаемая МС, тыс. га	21,620	21,620	21,620	21,620	21,620	21,620	21,620
Фактическая площадь, обслуживаемая МС, тыс. га	10,42	10,42	10,42	9,473	9,473	9,473	9,473
Фактически полито, тыс. га	1,1	1,1	1,556	1,1	0,855	0,638	0,724
Годовой объем водозабора, тыс. м ³ /сек (плановое значение)	54 000	54 000	54 000	54 000	54 000	25 910	25 038
Годовой объем водозабора, тыс. м ³ /сек (фактическое значение)	41 372	41 372	26 950	41 372	26 100	23 948	25,442
Годовой объем водоподачи, тыс. м ³ /сек (плановое значение)	21 467	21 467	21 467	21 467	20 880	3 855	1,961
Годовой объем водоподачи, тыс. м ³ /сек (фактическое значение)	21 467	21 467	20 115	21 467	1 257	1 257	1,949
Годовой объем водоотведения, тыс. м ³ /сек (плановое значение)	13 476	13 476	13 476	13 476	13 476	13 476	13 476
Годовой объем водоотведения, тыс. м ³ /сек (фактическое значение)	9 612	9 612	3 490	9 612	3 125	3 070	3103,5

В советское время мелиоративный комплекс в зоне Алейской ОС должен был обслуживать орошаемые участки площадью не менее 500 га, которых практически не осталось, сложившиеся наделы имеют площади в пределах 1 – 5 га (пай). Не имея средств на развитие мелиорации, сельхозтоваропроизводители стали переводить свои угодья под возделывание зерновых культур на богаре. По данным ФГБУ «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Алтайскому краю» в

2022 году структура посевных площадей (тыс. га) в зоне Алейской ОС составляла: зерновые культуры – 0,075, овощные культуры – 0,584, кормовые культуры – 0,015, прочие культуры – 0,05 [6, 12, 14].

Результаты. В XX веке интенсивное орошаемое земледелие в степной зоне Алтайского края позволяло получать высокие урожаи, а с другой стороны, стало причиной потери речного стока, засоления почв и образования крупных депрессионных воронок радиусом до 50 – 60 км. Несоблюдение режимов орошения, отсутствие дренажа, несовершенство строительных технологий и оросительной техники привели к большим фильтрационным потерям и повышению уровня грунтовых вод с 8 – 10 м до 1,5 – 3 м и засолению почв. В 2000-х годах площадь орошаемых земель сократилась до 105 тыс. га, количество дождевальных машин уменьшилось в 3,5 раза, степень износа основных фондов увеличилась до 60%. Одной из причин сокращения площадей орошаемых земель стал распад коллективных хозяйств, сокращение финансирования сельского хозяйства, как следствие, снижение рентабельности и специализации КФХ, уменьшение поголовья скота (с 523 до 181 тыс. голов). Измененная эксплуатация природных ресурсов привела к тому, что 2,4% сельскохозяйственных земель стали поливаться водой с минерализацией более 2 г/л [3].

Обсуждение. В преддверии «эры иссушения» весьма актуальным становится вопрос возрождения мелиорации на Алтае на основе комплексного подхода, одним из направлений которого становится восстановление до рабочего состояния федеральных оросительных систем с помощью бюджетных инвестиций и частной инициативы. Интегральными показателями функционирования мелиорированных земель должны стать: инвестиционные затраты, экологическая стабильность, биопродуктивность и экономическая эффективность сельскохозяйственного производства [15, 19, 21, 22]. Одним из проектных объектов государственно-частного партнерства в области возрождения мелиорации может стать реализация концепции создания мелиоративного парка, разработанной под руководством академика РАН Щедрина В. Н. [18]. Мелиоративный парк – это хозяйствующий субъект, расположенный на сельскохозяйственных землях, обеспеченный административно-правовыми основаниями для ведения хозяйственной деятельности, в том числе: строительством внутрихозяйственных оросительных систем, организацией производства, переработки и сбыта сельскохозяйственной продукции, выращенной на орошаемых (осушенных) землях. В числе составляющих мелиоративного парка Алтайского края: добровольное объединение сельхозтоваропроизводителей в единый хозяйственный комплекс с целью строительства и реконструкции оросительных систем, введение в оборот орошаемых земель и экологическое сохранение плодородия почв.

Проводимая реконструкция Алейской оросительной системы позволяет увеличить площадь орошаемых земель, создать условия для повышения продукционного потенциала агроландшафтов. На вновь вводимых орошаемых землях планируется реализация нескольких инвестиционных проектов по выращиванию сельскохозяйственных культур, в том числе устойчивых к засолению: капусты, картофеля, моркови, свеклы, сои и кукурузы, а также – зерновых [16]. Основные агроклиматические условия в зоне реализации инвестиционных проектов представлены в таблице 4.

Как видно из таблицы, средняя многолетняя сумма температур за тёплый период составляет 2300°C, что позволяет выращивать широкий спектр сельскохозяйственных культур и единственным остается – ввести в оборот новые орошаемые земли. При анализе инвестиционных проектов обращает на себя тот факт, что режим орошения разрабатывался в соответствии со СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения, обращалось внимание на близкое залегание пресных и слабоминерализованных грунтовых

вод, естественную дренированность территории и применение круговых и барабанных дождевальных машин, обеспечивающих подачу воды в диапазоне: 2...5 тыс. м³ при глубине залегания пресных грунтовых вод 1,5 м и соленых (1,5...3,0 г/л) до 3,0 м [23].

Таблица 4 – Агроклиматические характеристики орошаемых земель Алейской ОС в зоне реализации инвестиционных проектов

Table 4 – Agro-climatic characteristics of irrigated lands of the Aleiskaya OS in the zone of proposed investment projects

Высота над уровнем моря, м	Продолжительность безморозного периода, сут.	Сумма температур воздуха за период с $t > 10^{\circ}$, $^{\circ}\text{C}$	Испаряемость за теплый период с $t > 5^{\circ}\text{C}$, мм	Осадки за теплый период с $t > 5^{\circ}\text{C}$, мм	Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало теплого периода, мм
200 – 219	126	2300	688	167	95

В таблицах 5, 6, 7 представлена информация по возделываемым сельскохозяйственным культурам в рамках реализации инвестиционных проектов [8, 15].

Таблица 5 – Инвестиционный проект по возделыванию сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, 2022 г.

Table 5 – Investment project for the cultivation of crops on irrigated lands, 2022

Наименование	2022	2024	2026	2028
Сидераты (горчица, ячмень)	0	400	1000	1000
Картофель	1000	1000	1000	1000
$K - 90, U - 40-50, \beta_{\min} - 60, M - 330, M_{op} - 1700$				
Морковь	0	0	100	100
$K - 75, U - 65-75, \beta_{\min} - 70, M - 250, M_{op} - 2760$				
Свекла	0	0	100	100
$K - 130, U - 40-50, \beta_{\min} - 70, M - 250, M_{op} - 2460$				
Лук	00	0	100	100
$K - 100, U - 40-50, \beta_{\min} - 70, M - 250, M_{op} - 1260$				
Капуста		0	100	100
$K - 80, U - 80-90, \beta_{\min} - 80, M - 160, M_{op} - 5320$				

K – коэффициент водопотребления, м³/т; U – условная урожайность, т/га, $\beta_{\min}$ – уровень предполивной влажности, %, H – глубина слоя почвы, 0,3м. $HВ$, M – поливная норма, M_{op}

Таблица 6 – Оросительные нормы возделывания сельскохозяйственных культур в рамках реализации инвестиционного проекта

Table 6 – Irrigation norms for the cultivation of agricultural crops as part of the implementation of the investment project

Метеостанция	Коэффициент увлажнения K_u	Вероятностные значения оросительных норм нетто $\Delta E_{vp} = M_p$, мм*					
		5%	25%	50%	75%	85%	95%
Рубцовск	0,38	Кукуруза					
		70	130	185	250	290	360
		Соя					
		75	125	180	245	285	355

*Орошаемые земли I и II категории при глубине залегания грунтовых вод более 2,5 м

Таблица 7 – Рекомендации по мелиорации земель в зоне действия Алейской оросительной системы
Table 7 – Recommendations for the irrigation of lands in the area of the Aley irrigation system

ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ЗОНЕ АЛЕЙСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ				
Проект – 2216 га	Проект – 968 га	Проект – 605 га	Проект – 378 га.	Проект – 1400 га
Культуры: зерновые и технические, овощи, картофель, соя и кукуруза				
I группа. Земли, пригодные под орошение. Несолонцеватые и незасоленные почвы, черноземы южные обычные, темно-каштановые обычные почвы	II группа. Земли, пригодные под орошение при строгом контроле за водно-солевым режимом. Лугово-черноземные выщелоченные почвы, черноземы южные обычные с лугово-солончаковыми почвами	III группа*. Земли, пригодные под орошение при проведении мероприятий по снижению засоления и солонцеватости. Черноземы южные обычные, высокосолончаковые и лугово-черноземные солончаковые почвы	IV группа*. Земли, пригодные под орошение только при проведении мероприятий по снижению засоления и солонцеватости. Лугово-черноземные солончаковые почвы	V группа. Земли, пригодные под орошение. Несолонцеватые почвы, черноземы южные обычные, темно-каштановые обычные, комплексы с лугово-черноземными почвами
Рекомендации по мелиорации земель				
Проведение дождевания из закрытой оросительной сети	Проведение дождевания из закрытой оросительной сети	Проведение мелиоративных промывок – 500 – 2500 м ³ /га. Внесение гипса, фосфогипса.	Проведение мелиоративных промывок на фоне дренажа – 1000 – 6400 м ³ /га.	Проведение дождевания из закрытой оросительной сети

*Промывной режим необходим на землях III категории на 0,1 Евр, землях IV категории на 0,15 Евр.

Заключение. В целях обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации в преддверии «эры иссушения» важным становится процесс возрождения мелиорации земель в Сибирском регионе. Введенные в эксплуатацию в XX веке, с потенциалом полива – 300 тыс га, федеральные мелиоративные системы Алтайского края используются на 35% и требуют реконструкции, проведения восстановительных работ. Созданные массы орошаемых земель имеют тенденцию к сокращению (скорость 2,04 тыс. га/год) и ухудшению состояния: требуется капитальная промывка засоленных почв на площади 3402 га, химическая мелиорация на площади 3138 га. Значительная часть мелких собственников земель, не имея средств средств на восстановление оросительных земель, занимается возделыванием культур на богаре. Одни из возможных решений – это восстановление орошаемых земель на основе комплексной мелиорации, совершенствование механизма государственно-частного партнерства, обеспечивающего создание мелиоративных парков. Мелиорация остается единственным форпостом перед силами природы, перед засухами, которые приводят к катастрофам в сельском хозяйстве.

Conclusions. In order to ensure food security of the Russian Federation on the eve of the “era of desiccation,” the process of reviving land reclamation in the Siberian region becomes important. Commissioned in the twentieth century, with an irrigation potential of 300 thousand hectares, the federal reclamation systems of the Altai Territory are used at 35% and require reconstruction and restoration work. The created masses of irrigated land tend to decrease (at a rate of 2.04 thousand hectares/year) and deteriorate their condition: capital leaching of saline soils on an area of 3,402 hectares, and chemical reclamation on an area of 3,138 hectares are required. A significant part of small land owners, not having the means to restore irrigation lands, are engaged in cultivating rainfed crops. Some of the possible solutions are the restoration of irrigated lands on the basis of comprehensive rec-

lamation, improvement of the mechanism of public-private partnerships that ensure the creation of reclamation parks. Reclamation remains the only outpost against the forces of nature, against droughts that lead to catastrophes in agriculture.

Библиографический список

1. Абатуров Б. Д., Молчанова Л. В. Естественные степные экосистемы: каковы они на самом деле. Экосистемы: экология и динамика. 2020. Т. 4. № 2. С. 5-25.
2. Барышников Г. Я., Воронкова О. Ю., Барышникова О. Н., Ельчищев Е. А. Районирование территории Алтайского края для производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции. Барнаул: АЗБУКА, 2016. 136 с.
3. Власов М. В., Куприянова С. В. К вопросу оценки качества дренажных вод орошаемых земель Алтайского края на примере Алейской оросительной системы. Известия НВ АУК. 2023. № 2 (70). С. 141-150.
4. Дубровская Л. И., Герасимова В. Р. Анализ многолетних колебаний стока рек Обь-Иртышского междуречья. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Том 17. С. 82-86.
5. Дунаева Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Ёлкина Е. С., Барботкина Е. С., Вечерков В. В., Барталев С. А. Использование данных дистанционного зондирования для ранней диагностики наступления засушливых условий. Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4 (20). С. 28-45.
6. Ермакова К. С., Давыдов А. С., Горносталь Р. Г. Влияние оросительных вод на мелиоративное состояние земель на Алейской оросительной системе. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 5. С. 50-55.
7. Кошелева Е. Д. Мелиорация в Алтайском крае: ретроспективный анализ и современное состояние. Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Барнаул, 2022. Т. 3. С. 76-85.
8. Князева Е. Д. Проблемы мелиорации в Алтайском крае. Современные технологии в сфере сельскохозяйственного производства и образования. 2021. С. 101-104.
9. Кошелева Е. Д., Зиновьев А. Т. Анализ изменения водности рек Обь-Иртышского бассейна в условиях изменения климата. Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2017. № 3 (46). С. 80-86.
10. Конаш В. В., Медведева Л. Н. Онтология мелиоративного комплекса Российской Федерации. Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата. Новочеркасск. 2023. С. 23-29.
11. Кононцева Е. В., Хлуденцов Ж. Г., Почемин Н. М., Стребкова А. С. Агроэкологическая типизация и оценка продуктивности агроландшафтов сухой степи Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 11. С. 72-79.
12. Миненко А. В. К вопросу об актуальности исследования наличия бесхозных мелиорируемых земель в Алтайском крае. Вектор экономики. 2021. № 12. С. 16 -21.
13. Овчинников В. И., Процюк И. С., Белько Г. П. Основные проблемы рационального использования и охраны природных ресурсов бассейна реки Алей. Проблемы природопользования и охрана окружающей среды в бассейне р. Алей. Барнаул, 1984. С. 3-11.
14. Плуталова Т. Г., Романов А. Н. Анализ процессов аридизации территорий в Западной Сибири и Центральной Азии на основе спутниковых и наземных данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва, 2022. С. 328-232.
15. Сизов Ю. И., Медведева Л. Н. Природные и мелиоративные концепции формирования агроландшафтов. Орошаемое земледелие. 2022. № 4. С. 62-67.
16. Снежко В. Л., Бенин Д. М., Шишкин А. В., Бойко А. В., Скрипкин А. В. Современные изменения мелиоративного состояния орошаемых земель Алтайского края. Природообустройство. 2022. № 4. С. 13-21.
17. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2012. 242 с.

18. Щедрин В. Н., Масный Р. С., Манжина С. А., Куприянова С. В. Стратегический подход к развитию мелиорации в условиях меняющегося климата. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 2. С. 11-17.
19. Eisenhauer D. E., Martin D. L. Irrigation systems management. American Society of Agricultural Engineers. USA. ASABE. 2021. <https://elibrary.asabe.org/textbook.asp?confid=ism2021>.
20. IPCC. Summary for policymakers. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Working Group II contribution to the IPCC Sixth Assessment Report. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Cambridge University Press, 2022. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Summary_For_Policymakers.pdf/
21. Patle G. T., Kumar M., Khanna M. Climate-smart water technologies for sustainable agriculture: A review. Journal of Water and Climate Change. 2020. Pp.1455-1466.
22. Snezhko V. L., Benin D. M., Gavrilovskaya N. V., Shishkin A. V. Spatio-temporal analysis of the ameliorative state of lands in the foothill, steppe and forest-steppe zones of the Altai territory. Sustainable Development of Mountain Territories. 2022. V. 14. № 4 (54). Pp. 594-602.
23. Roiss O., Medvedeva L. Innovation in agriculture - An actor in the development of a green economy. AIP Conference Proceedings. 2022. 2650. 030019.
24. Wei W., Zhang J., Zhou L., Xie B., Zhou J., Li C. Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data. Environmental Science and Pollution Research. 2021. V. 28. Pp. 20408-20425. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12120-04>.

References

1. Abaturov B. D., Molchanova L. V. Natural steppe ecosystems: what are they really like. Ecosystems: ecology and dynamics. 2020. Vol. 4. No 2. Pp. 5-25.
2. Baryshnikov G. Ya., Voronkova O. Yu., Baryshnikova O. N., Yelchishchev E. A. Zoning of the territory of the Altai Territory for the production of environmentally friendly agricultural products. Barnaul: ABC, 2016. 136 p.
3. Vlasov M. V., Kupriyanova S. V. To the question assessment of the quality of drainage waters of irrigated lands of the Altai Territory on the example of the Aleisk irrigation system. Izvestiya NV AUK. 2023. No 2 (70). Pp. 141-150.
4. Dubrovskaya L. I., Gerasimova V. R. Analysis of long-term fluctuations in the flow of rivers of the Ob-Irtysh interfluvium. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015. V. 17. Pp. 82-86.
5. Dunaeva E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Elkina E. S., Barbotkina E. S., Vechevnikov V. V., Bartalev S. A. The use of remote sensing data for early diagnosis of the onset of arid conditions. Tauride Bulletin of Agrarian Science. 2019. No 4 (20). Pp. 28-45.
6. Ermakova K. S., Davydov A. S., Gornostal R. G. The influence of irrigation waters on the reclamation state of lands on the Aleisk irrigation system. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2019. No 5. Pp. 50-55.
7. Kosheleva E. D. Melioration in the Altai Territory: a retrospective analysis and the current state. Water and environmental problems of Siberia and Central Asia. Barnaul. 2022. Vol. 3. Pp. 76-85.
8. Knyazeva E. D. Problems of land reclamation in the Altai Territory. Modern technologies in the field of agricultural production and education. 2021. Pp. 101-104.
9. Kosheleva E. D., Zinoviev A. T. Analysis of changes in the water content of the rivers of the Ob-Irtysh basin in the conditions of climate change // News of the Altai Branch of the Russian Geographical Society. 2017. No 3 (46). Pp. 80-86.
10. Konash V. V., Medvedeva L. N. Ontology of the reclamation complex of the Russian Federation. Reclamation as a driver of modernization of the agro-industrial complex in the conditions of climate change. Novocheboksarsk, 2023. Pp. 23-29.
11. Konontseva E. V., Khludentsov Zh. G., Pochemin N. M., Strebkova A. S. Agroecological typification and evaluation of productivity of agricultural landscapes of the dry steppe of the Altai Territory. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022. No 11. Pp. 72-79.

12. Minenko A. V. On the question of the relevance of the study of the presence of ownerless reclaimed lands in the Altai Territory. *Vector of Economics*. 2021. No 12. Pp.16-21.
13. Ovchinnikov V. I., Protsyuk I. S., Belko G. P. The main problems of rational use and protection of natural resources of the Aley River basin. *Problems of nature management and environmental protection in the Aley River basin*. Barnaul, 1984. Pp. 3-11.
14. Plutalova T. G., Romanov A. N. Analysis of the processes of aridization of territories in Western Siberia and Central Asia on the basis of satellite and ground data. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. Moscow, 2022. Pp. 328-232.
15. Sizov Yu. I., Medvedeva L. N. Natural and meliorative concepts of the formation of agricultural landscapes. *Irrigated agriculture*. 2022. No 4. Pp. 62-67.
16. Snezhko V. L., Benin D. M., Shishkin A. V., Boyko A. V., Skripkin A. V. Modern changes in the reclamation state of irrigated lands of the Altai Territory. *Nature management*. 2022. No 4. Pp. 13-21.
17. The current state of water resources and the functioning of the water management complex of the Ob and Irtysh basin. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2012. 242 p.
18. Shchedrin V. N., Masny R. S., Manzhina S. A., Kupriyanova S. V. Strategic approach to the development of land reclamation in a changing climate. *Land reclamation and water management*. 2022. No 2. Pp. 11-17.
19. Eisenhauer D. E., Martin D. L. Irrigation systems management. American Society of Agricultural Engineers. USA. ASABE. 2021. <https://elibrary.asabe.org/textbook.asp?confid=ism2021>.
20. IPCC. Summary for policymakers. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. The Working Group II contribution to the IPCC Sixth Assessment Report. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Cambridge University Press, 2022. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_.
21. Patle G. T., Kumar M., Khanna M. Climate-smart water technologies for sustainable agriculture: A review. *Journal of Water and Climate Change*. 2020. Pp.1455-1466.
22. Snezhko V. L., Benin D. M., Gavrilovskaya N. V., Shishkin A. V. Spatio-temporal analysis of the ameliorative state of lands in the foothill, steppe and forest-steppe zones of the Altai territory. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022. V. 14. № 4 (54). Pp. 594-602.
23. Roiss O., Medvedeva L. Innovation in agriculture – An actor in the development of a green economy. *AIP Conference Proceedings*. 2022. 2650. 030019.
24. Wei W., Zhang J., Zhou L., Xie B., Zhou J., Li C. Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. V. 28. Pp. 20408-20425. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12120-04>.

Информация об авторах

Щедрин Вячеслав Николаевич, академик РАН, д-р. техн. наук, профессор, научный консультант, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, д. 44), ORCID 0000-0002-6170-0014, e-mail: schedrikova@bk.ru

Медведева Людмила Николаевна, доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия" (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9), ORCID 0000-0002-3650-2083, e-mail: mile-na.medvedeva2012@yandex.ru

Конаш Владимир Владимирович, менеджер, ООО «Агидель» (Российская Федерация, 404130, г. Волжский, Волгоградская область, пр. Ленина, д. 208), e-mail: agidel.vlg.ru@yandex.ru

Author's Information

Shchedrin Vyacheslav Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor, scientific consultant in the A. N. Kostyakov VNIIGiM (Russian Federation, 127550, Moscow, B. Akademicheskaya st., 44), ORCID 0000-0002-6170-0014, e-mail: schedrikova@bk.ru

Lyudmila Nikolaevna Medvedeva, Doctor of Economics, Leading Researcher at VNIIOZ – the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture” (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazeva st., 9), ORCID 0000-0002-3650-2083, e-mail: mile-na.medvedeva2012@yandex.ru

Kanash Vladimir Vladimirovich, Manager, Agidel LLC (Russian Federation, 404130, Volgograd region, Volzhsky, Lenin Av., e-mail: agidel.vlg.ru@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-36

DIGITAL TOOL FOR ESTIMATING THE NEGATIVE IMPACT OF AGRICULTURAL PRODUCTION ON WATER BODIES

A. Yu. Briukhanov, E. V. Vasilev, E. A. Papushin

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Saint Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author e-mail: papushinea@yandex.ru

Received 18.09.2023

Submitted 27.10.2023

Summary

The article presents a flowchart of an algorithm and a database for assessing the nutrient load on water bodies generated by agricultural production. It also gives a calculation example of the nutrient input into the water bodies from farming in the Leningrad Region in 2018.

Abstract

Introduction. Most pollutants from non-point sources get into surface waters from of agricultural activities. These pollutants can be chemical plant protection agents, animal and poultry manure, and manure-bearing wastewater from agricultural enterprises. So, reducing the diffuse pollution with nutrient inputs is a priority and important task for improving the quality of ground and surface waters. **Object.** The study considered the calculation methods for assessing the nutrients loss into water bodies from farming operations. **Materials and methods.** The applied research methods were those of subject area study, decomposition, diffuse load assessment, spatial analysis in the environment of geographic information systems (GIS). The effect of agricultural production on water bodies was assessed according to the methodology developed in IEEP – branch of FSAC VIM. **Results and conclusions.** To assess the pollution of water bodies by agricultural lands, and livestock and poultry complexes, the study designed a corresponding algorithm. It had several blocks: initial data, pollution source analysis, estimation of point and non-point pollution, and the estimation results and recommendations on the nutrient load reduction. The other study output was the structure of the database for obtaining and accumulating information on the activities of an agricultural enterprise, agricultural land available, the amount of biogens entering water bodies from agricultural production, etc. The database was designed for research application. For example, the calculations using the database showed that in 2018 the nutrient input into the water bodies of the Leningrad Region amounted to 3909.2 t/year for nitrogen and 250.96 t/year for phosphorus. The study results were recognized with the Certificate of Database Registration 2022622557 dated 19.10.2022 “Indicators for assessing impacts on water bodies” and the Certificate of Computer Program Registration 2022684376 dated 13.12.2022 “Program for assessing diffuse load on water bodies from agricultural production”.

Key words: *pollution of water bodies, assessment of water pollution, biogens, monitoring of water quality.*

Citation. Briukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Papushin E. A. Digital tool for estimating the negative impact of agricultural production on water bodies. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 357-366 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-36.

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

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

УДК 004.658.2

ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

А. Ю. Брюханов, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор

Э. В. Васильев, кандидат технических наук

Э. А. Папушин, кандидат технических наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения

«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Актуальность. Большинство загрязняющих веществ от неорганизованных источников попадают в поверхностные воды в результате сельскохозяйственной деятельности. Источниками загрязнения могут являться химические средства защиты растений, навоз, помет, навозосодержащие стоки сельскохозяйственных предприятий. Поэтому снижение неорганизованных поступлений биогенных веществ является приоритетной и важной задачей для улучшения качества грунтовых и поверхностных вод. **Объект.** Объектом исследования были расчётные методы оценки потерь биогенных элементов в водные объекты от сельскохозяйственного производства. **Материалы и методы.** Использованы методы исследования предметной области, декомпозиции, оценки диффузной нагрузки, пространственного анализа в среде геоинформационных систем (ГИС). Оценка воздействия сельскохозяйственного производства на водные объекты выполнена по методике, разработанной в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. **Результаты и выводы.** Для решения задачи оценки загрязнения водных объектов с сельскохозяйственных угодий, животноводческих и птицеводческих комплексов разработан соответствующий алгоритм, состоящий из блока исходных данных, блока анализа источников загрязнения, блока оценки точечных и неточечных загрязнений и блока результатов оценки и рекомендаций по снижению нагрузки. Разработана структура базы данных для получения и накопления информации о деятельности сельхозпредприятия, земельных угодьях сельскохозяйственного назначения, количестве биогенов, попадающих в водные объекты от сельскохозяйственного производства, и др. База данных может быть использована при выполнении научно-исследовательских работ. В частности, расчет на ее основе показал, что в 2018 году поступление биогенных элементов в водные объекты Ленинградской области составило 3909,2 т/год по азоту и 250,96 т/год по фосфору. По результатам проведенного исследования было получено Свидетельство о регистрации базы данных 2022622557 от 19.10.2022 «Показатели оценки воздействия на водные объекты» и Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022684376 от 13.12.2022 «Программа оценки диффузной нагрузки на водные объекты при производстве сельскохозяйственной продукции».

Ключевые слова: загрязнение водных объектов, оценка загрязненности воды, биогены, мониторинг качества воды.

Цитирование. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Папушин Э. А. Цифровой инструмент для определения негативного воздействия сельскохозяйственного производства на водные объекты. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 357-366. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-36.

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. Особенностью развития современного производства сельскохозяйственной продукции является интенсификация. Интенсификация сельского хозяйства приводит к увеличению продуктивности растений и животных, но также может вызвать

негативные экологические последствия: низкий уровень доли перерабатываемых органических отходов (по ряду субъектов доля перерабатываемых и используемых органических отходов не превышает 20–30%); ухудшение качества почв сельскохозяйственных земель (недостаток питательных элементов составляет более 6000 тыс. тонн действующего вещества в год); высокий уровень биогенной нагрузки на почвы и водоемы (на примере водных объектов по азоту до 150 кг/га, по фосфору до 10 кг/га, при средней норме 15–20 и 1–1,5 кг/га соответственно) [1–5].

Интенсивное животноводство является значительным источником загрязнения воды. Отходы животных, богатые биогенами, такими как азот и фосфор, часто попадают в близлежащие водные пути, что приводит к повышению уровня питательных веществ в воде. Это способствует росту водных растений и водорослей, что может привести к цветению воды и снижению качества воды.

Во всем мире ведется работа по идентификации загрязнений, разработке баз данных и моделей оценки диффузного загрязнения от сельскохозяйственных объектов [6].

Ученые из Новой Зеландии и Австралии разработали базу данных результатов измерения азота и фосфора для 1421 ручьев и рек по всему миру. Эти данные они объединили с данными о характеристиках водосбора и землепользования в модели для оценки нагрузки и урожайности. В основном в базе данных учитываются диффузные источники потерь питательных веществ [7].

Ученые из КНР используют в своих исследованиях инструмент оценки почвенных вод (SWAT) для изучения источников и динамики удержания питательных веществ фосфора в речной системе бассейна реки Ен, Китай [8].

Чтобы оценивать и снижать величину воздействия на водные объекты от сельскохозяйственного производства, необходимо:

1. Проводить долгосрочный мониторинг качества воды в загрязняемых водоемах;
2. Использовать новые технологии производства сельхозпродукции, способствующие уменьшению загрязнения.

Но в первую очередь необходимы данные, характеризующие биогенную нагрузку от агроэкосистем на водные объекты, базы данных для их накопления и хранения, системы управления базами данных и унифицированные прогностические модели, охватывающие все ключевые аспекты управления сельским хозяйством и водными ресурсами, для формирования вариантов и рисков, последствий, а также взаимодействие между рациональным производством продовольствия и его воздействие на водные ресурсы.

Целью наших исследований является разработка алгоритма и структуры базы данных показателей воздействия на водные объекты от сельскохозяйственного производства, обеспечивающих автоматизацию расчета.

Материалы и методы. Объектом исследования является автоматизированная система оценки воздействий на водные объекты от сельскохозяйственного производства. Используются теоретические методы функционально-структурного анализа, исследования предметной области, декомпозиции, методы оценки диффузной нагрузки, пространственного анализа в среде геоинформационных систем (ГИС). Для оценки воздействий на водные объекты от сельскохозяйственного производства используется методика, разработанная в Институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [9].

Для разработки базы данных был использован пакет программ Visual Foxpro 9.0.

Результаты и обсуждение. На основе методики разработан алгоритм оценки биогенной нагрузки на водные объекты при производстве сельхозпродукции, его блок-схема представлена на рисунке 1.

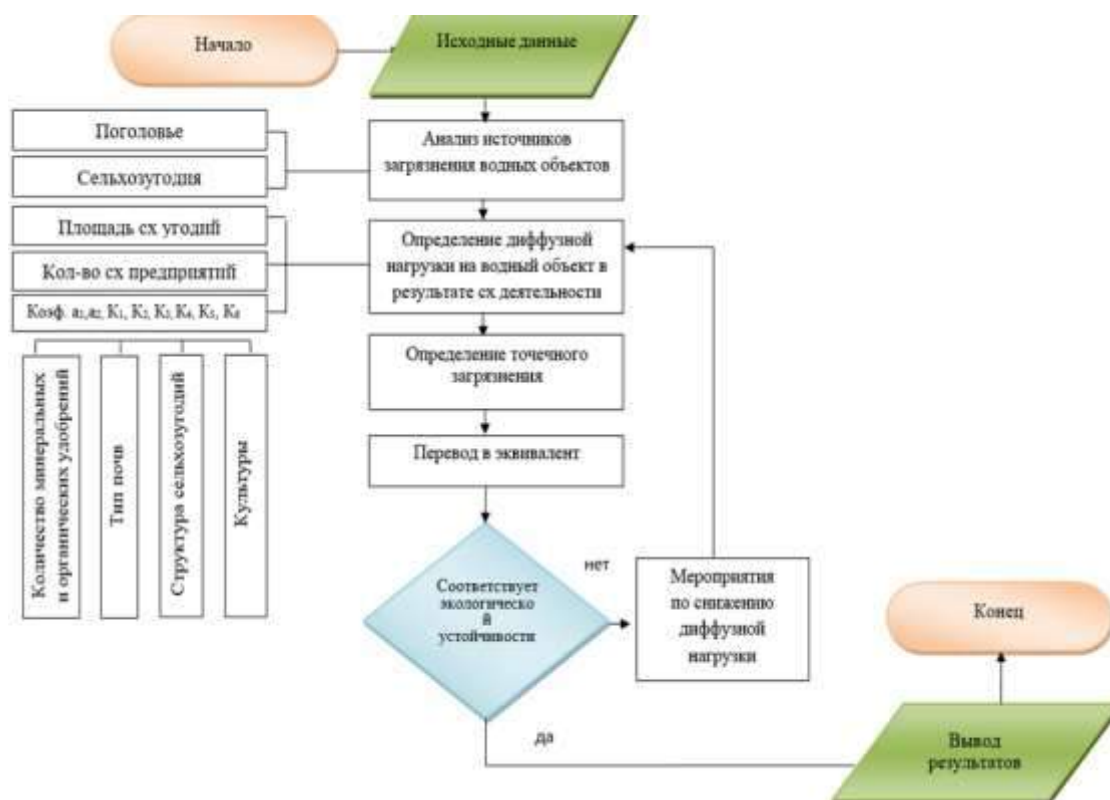


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма оценки биогенной нагрузки на водные объекты при производстве сельскохозяйственной продукции

Figure 1 – Diagram of the algorithm for assessment of biogenic load on water bodies in the production of agricultural products

На этапе «Начало» задаются исходные данные сельхозпредприятия и близлежащих водных объектов.

Исходные данные включают следующую информацию:

- количество сельскохозяйственных животных с разбивкой по районам и крупным сельскохозяйственным предприятиям, голов;
- площадь сельскохозяйственных земель в пределах водосбора с разбивкой по муниципальным районам, га;
- образование и использование органических удобрений, с указанием доз в пересчете на содержание азота и фосфора в них, кг/га/год;
- применение минеральных удобрений в пересчете на азот и фосфор, кг/га/год;
- характеристики почв сельскохозяйственных земель и коэффициенты, учитывающие долю многолетних трав в севообороте;
- коэффициенты удаленности сельскохозяйственных полей от ближайших водных объектов.

По результатам анализа и расчетов формируется отчет оценки биогенной нагрузки на водные объекты, в котором отмечаются рекомендации по ее снижению.

Для практической реализации алгоритма, использования большого количества исходных данных и показателей, для оценки загрязнения водных объектов была разработана соответствующая база данных.

Результат анализа предметной области воздействий от сельского хозяйства на водные объекты представлен в виде концептуальной схемы базы данных оценки биогенной нагрузки на водные объекты (рисунок 2).

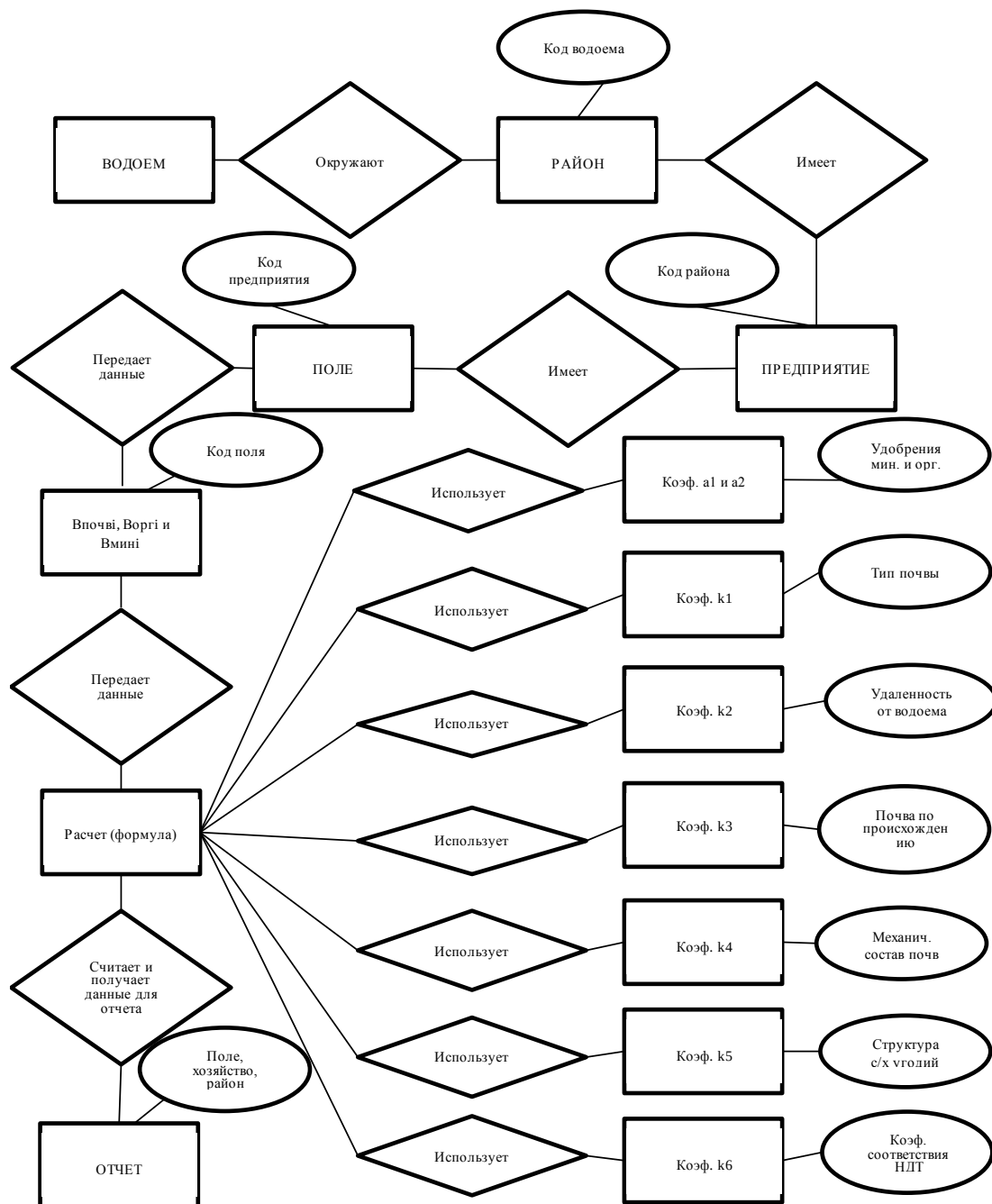


Рисунок 2 – Концептуальная схема базы данных показателей оценки биогенной нагрузки на водные объекты

Figure 2 – Conceptual diagram of the database of indicators for assessment of biogenic load on water bodies

Анализ предметной области, относящейся к базе данных, показал, что степень диффузного загрязнения водных объектов зависит от практик землепользования, применяемых в рассматриваемых регионах, от типов почв по происхождению и механическому составу, от содержания питательных веществ в пахотном слое почвы, от удаленности сельскохозяйственных полей от водных объектов [10, 11].

Исходя из этого разработанная база данных обладает следующими функциональными возможностями:

- 1 Накопление данных о существующих водных объектах РФ.
- 2 Определение районов в различных регионах РФ, находящихся в такой зоне удаленности от указанного водного объекта, которая позволяет предположить возможность его диффузного загрязнения сточными водами от сельскохозяйственных угодий хозяйств, принадлежащих этим районам.
- 3 Накопление данных о сельхозпредприятиях, о поголовье, о принадлежащих им сельскохозяйственных угодьях, о практиках землепользования.
- 4 Проведение расчетов биогенной нагрузки. Результаты расчетов структурированы и заносятся в отдельную таблицу.

Для того чтобы использовать все функциональные возможности базы данных, были разработаны удобные, интуитивно понятные интерфейсы. Рассмотрим пример определения диффузной нагрузки на водосборный бассейн Балтийского моря по Ленинградской области в 2018 году.

Исходные данные для расчета диффузной нагрузки

Наименование района	Код района	Наименование района	Площадь, га	Год расчета	Масса азота, поступающая с органическими удобрениями, кг/га	Содержание биогенного азота в верхнем слое почвы, кг/га (ант)	Содержание биогенного азота в пахотном слое почвы, кг/га Фосфор	Масса фосфора, поступающая с органическими удобрениями, кг/га	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот
Полтавский район	1	Бессоголовский муницип.	1426.00	2018	71.19	3800.00	1058.88	14.88	0.030	0.000	0.30	0.30	0.00	1.00
Полтавский район	2	Бессоголовский муницип.	30994.20	2018	88.80	3800.00	1058.88	18.59	0.030	0.000	0.20	0.20	0.07	1.00
Полтавский район	3	Бессоголовский муницип.	12864.00	2018	98.80	3800.00	1058.88	21.99	0.030	0.000	0.20	0.20	0.07	1.00
Полтавский район	4	Бессоголовский муницип.	9795.00	2018	115.40	3800.00	1058.88	25.50	0.030	0.000	0.10	0.10	0.00	1.00
Полтавский район	5	Бессоголовский муницип.	8688.00	2018	136.70	3800.00	1058.88	32.25	0.030	0.000	0.30	0.30	0.00	1.00
Полтавский район	6	Гатчинский муниципалит.	32900.30	2018	85.40	3800.00	1058.88	19.10	0.030	0.000	0.30	0.30	0.00	1.00
Полтавский район	7	Васильевский муницип.	19062.30	2018	43.00	3800.00	1058.88	9.80	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00
Полтавский район	8	Варшавский муниципалит.	9154.00	2018	62.50	3800.00	1058.88	12.80	0.030	0.000	0.30	0.30	0.00	1.00
Полтавский район	9	Ворожский муниципалит.	24611.00	2018	341.25	3800.00	1058.88	73.88	0.030	0.000	0.30	0.30	0.02	1.00
Полтавский район	10	Борисовский муницип.	4422.30	2018	95.50	3800.00	1058.88	13.39	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00
Полтавский район	11	Валковский муницип.	13126.80	2018	101.90	3800.00	1058.88	25.89	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00
Полтавский район	12	Простый муниципалит.	25277.00	2018	91.00	3800.00	1058.88	19.34	0.030	0.000	0.30	0.30	0.07	1.00
Полтавский район	13	Полтавский муницип.	116.50	2018	305.70	3800.00	1058.88	73.80	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00
Полтавский район	14	Полтавский муницип.	17917.10	2018	120.10	3800.00	1058.88	24.70	0.030	0.000	0.30	0.30	0.07	1.00

Добавить строку

Полтава Ровно Слободский Полтавский Слободский Полтава

Исходные данные для расчета диффузной нагрузки

Год расчета	Масса азота, поступающая с органическими удобрениями, кг/га	Содержание биогенного азота в верхнем слое почвы, кг/га (ант)	Содержание биогенного азота в пахотном слое почвы, кг/га Фосфор	Масса фосфора, поступающая с органическими удобрениями, кг/га	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот	Коэф. азот
2018	71.19	3800.00	1058.88	14.88	0.030	0.000	0.30	0.30	0.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	88.80	3800.00	1058.88	18.59	0.030	0.000	0.20	0.20	0.07	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	98.80	3800.00	1058.88	21.99	0.030	0.000	0.20	0.20	0.03	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	115.40	3800.00	1058.88	25.50	0.030	0.000	0.10	0.10	0.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	136.70	3800.00	1058.88	32.25	0.030	0.000	0.30	0.30	0.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	8													
2018	85.40	3800.00	1058.88	19.10	0.030	0.000	0.30	0.30	0.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	43.00	3800.00	1058.88	9.80	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	62.50	3800.00	1058.88	12.80	0.030	0.000	0.30	0.30	0.08	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	341.25	3800.00	1058.88	73.88	0.030	0.000	0.30	0.30	0.02	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	85.50	3800.00	1058.88	13.39	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	101.90	3800.00	1058.88	25.89	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	91.00	3800.00	1058.88	19.34	0.030	0.000	0.30	0.30	0.07	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	305.70	3800.00	1058.88	73.80	0.030	0.000	0.30	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00
2018	120.10	3800.00	1058.88	24.70	0.030	0.000	0.30	0.30	0.07	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00

Добавить строку

Полтава Ровно Слободский Полтавский Слободский Полтава

Рисунок 3 – Форма исходных данных для расчета диффузной нагрузки
(на примере Ленинградской области)

Figure 3 – The form of the initial data for calculating the diffuse load
(on the example of the Leningrad Region)

Основными исходными данными, характеризующими сельскохозяйственную деятельность, являются данные по поголовью сельскохозяйственных животных, выходу навоза и содержанию в нем азота и фосфора, площадь сельхозугодий, дозы использования минеральных удобрений в пересчете на валовый азот и фосфор. В результате обследования спутниковых снимков мест расположения животноводческих предприятий, на основе официальных статистических данных, предоставляемых электронным онлайн ресурсом Федеральной службы государственной статистики, определяются направления деятельности предприятия. Данные по поголовью сельскохозяйственных животных и другие данные вносятся в форму исходных данных для расчета диффузной нагрузки базы данных (рисунок 3, 4).

На рисунке 4 показан общий вид информационных графиков с нанесением наиболее крупных животноводческих предприятий и части исходных данных, сформированных с применением ГИС систем, на водосборах Ленинградской области.



Рисунок 4 – Информационные графики с нанесением наиболее крупных животноводческих предприятий и части исходных данных, сформированных с применением ГИС систем (водосбор Ленинградской области)

Figure 4 – Infographics with the application of the largest livestock enterprises and a part of the initial data generated using GIS (the catchment area of the Leningrad Region)

Оценка диффузной нагрузки производится по методике, разработанной в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [11].

В результате расчета была определена диффузная нагрузка на водосборный бассейн Балтийского моря от сельскохозяйственного производства в Ленинградской области за 2018 год (таблица 1).

Таблица 1 – Диффузная нагрузка на водные объекты Ленинградской области от сельскохозяйственного производства за 2018 год

Table 1 – Diffuse load on water bodies from agricultural production in the Leningrad Region in 2018

Район	Площадь, га	Азот, кг/га	Фосфор, кг/га	Азот, т/год	Фосфор, т/год
1	2	3	4	5	6
Бокситогорский муниципальный район	1428,50	22,338	1,472	31,91	2,10
Волосовский муниципальный район	36994,20	12,268	1,053	453,84	38,95
Волховский муниципальный район	12844,00	14,471	0,865	185,87	11,11
Всеволожский муниципальный район	9395,60	7,101	0,426	66,72	4,00
Выборгский муниципальный район	9486,80	28,654	1,588	271,83	15,07
Гатчинский муниципальный район	32909,30	17,455	1,162	574,43	38,24
Кингисеппский муниципальный район	19062,30	20,382	1,150	388,53	21,92
Киришский муниципальный район	9154,00	20,322	1,153	186,03	10,55

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Кировский муниципальный район	2461,10	21,584	1,166	53,12	2,87
Лодейнополюский муниципальный район	4422,30	18,917	1,050	83,66	4,64
Ломоносовский муниципальный район	13128,80	22,540	1,292	295,92	16,96
Лужский муниципальный район	25277,00	20,616	1,374	521,11	34,73
Подпорожский муниципальный район	176,50	23,854	1,124	4,21	0,20
Приозерский муниципальный район	17917,70	23,049	1,489	412,99	26,68
Сланцевский муниципальный район	6885,10	15,169	0,839	104,44	5,78
Тихвинский муниципальный район	5159,40	13,790	0,772	71,15	3,98
Тосненский муниципальный район	18482,90	11,007	0,713	203,44	13,18
Всего:	225185,50	313,517	18,688	3909,20	250,96

Согласно результатам расчета с использованием базы данных, в 2018 году поступление биогенных элементов в водные объекты Ленинградской области составило: по азоту – 3909,2 т/год и по фосфору – 250,96 т/год. Можно сделать вывод, что наибольшее влияние на диффузное поступление азота и фосфора в водные объекты оказывает наличие возделываемых сельскохозяйственных земельных площадей и характеристики почв сельхозземель.

Заключение. Разработанные алгоритм и структура базы данных являются частью интеллектуальной аналитической программной платформы экологической безопасности, прогнозирования и управления сельскохозяйственными экосистемами и будут использованы для оценки загрязнения от сельского хозяйства на водные объекты.

База данных обладает следующими функциональными возможностями: накопление данных о существующих водных объектах РФ; определение районов в различных регионах РФ, находящихся в такой зоне удаленности от указанного водного объекта, которая позволяет предположить возможность его диффузного загрязнения сточными водами от сельскохозяйственных угодий хозяйств, принадлежащих этим районам; накопление данных о сельхозпредприятиях, о принадлежащих им сельскохозяйственных угодьях, о практиках землепользования в определенных выше районах; проведение расчетов диффузной нагрузки, сформированной на полях сельхозпредприятий и поступившей в ближайшие водоемы.

Согласно результатам расчета с использованием базы данных, в 2018 году поступление биогенных элементов в водные объекты Ленинградской области составило по азоту – 3909,2 т/год и по фосфору – 250,96 т/год. Можно сделать вывод, что наибольшее влияние на диффузное поступление азота и фосфора в водные объекты оказывает наличие возделываемых сельскохозяйственных земельных площадей и характеристики почв сельхозземель. Полученные данные позволяют перейти к обоснованию выбора технологий и технических средств снижения диффузной нагрузки.

По результатам исследований получены свидетельство о регистрации базы данных 2022622557 от 19.10.2022 «Показатели оценки воздействий на водные объекты» и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022684376 от 13.12.2022 «Программа оценки диффузной нагрузки на водные объекты при производстве сельскохозяйственной продукции».

Conclusions. The developed algorithm and database structure is part of an intelligent analytical software platform for environmental safety, forecasting and management of agricultural ecosystems and will be used to assess pollution from agriculture on water bodies.

The database has the following functionality: accumulation of data on existing water bodies of the Russian Federation; determination of areas in different regions of the Russian Federation located in such a zone of distance from the specified water body, which suggests the possibility of its diffuse pollution with wastewater from agricultural land of farms belonging to these areas; accumulating data on agricultural enterprises, on their agricultural land, on land use practices in the areas identified above; calculation of diffuse load formed on the fields of agricultural enterprises and received in the nearest reservoirs.

According to the results of calculation using the database, in 2018 the intake of biogenic elements into water bodies of the Leningrad Region amounted to 3909.2 t/year for nitrogen and 250.96 t/year for phosphorus. It can be concluded that the greatest influence on the diffuse flow of nitrogen and phosphorus into water bodies is the presence of cultivated agricultural land and soil characteristics of agricultural land. The data obtained allow us to move on to justifying the choice of technologies and technical means of reducing diffuse load.

Based on the results of the studies, a certificate of registration of the 2022622557 database was obtained from the 19.10.2022 "Indicators of assessment of impacts on water bodies" and a certificate of registration of the computer program 2022684376 from the 13.12.2022 "Program of assessment of diffuse load on water bodies in the production of agricultural products."

Библиографический список

1. Develop nutrient-balanced and "low nutrient surplus" agriculture in Baltic Sea Basin. Annual Activities Report 2017. Uppsala, Sweden: Coalition Clean Baltic. 2018. 102 p.
2. Weigelhofer G., Hein T., Bondar-Kunze E. Phosphorus and nitrogen dynamics in riverine systems: Human impacts and management options. Riverine Ecosystem Management, Aquatic Ecology Series. London, UK: Springer. 2018. V. 8. Pp. 187-202.
3. Kirschke S., Häger A., Kirschke D., Völker J. Agricultural nitrogen pollution of freshwater in Germany, the governance of sustaining a complex problem. Water. 2019. V.11 (12). P. 2450.
4. Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А., Тимошкин А. Д., Яшин В. М. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы. Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 523-535.
5. Holsten B., Trepel M. Nutrient balance and water pollution control. Paludiculture – Productive Use of Wet Peatlands. Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers. 2016. Pp. 106-109.
6. Harrison S., McAree C., Mulville W., Sullivan T. The problem of agricultural diffuse pollution: Getting to the point. Science of the Total Environment. 2019. V. 677. Pp. 700-717.
7. McDowell R. W., Noble A., Pletnyakov P., Mosley L. M. Global database of diffuse riverine nitrogen and phosphorus loads and yields. Geoscience Data Journal. 2021. V. 8. P. 132-143.
8. Cheng J., Gong Y., Zhu D. Z., Xiao M., Zhang Z., Bi J., Wang K. Modeling the sources and retention of phosphorus nutrient in a coastal river system in China using SWAT. Journal of Environmental Management 2021. V. 278. Part 2. 111556.
9. Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Обломкова Н. С., Огуздин А. С., Субботин И. А. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 89. С. 175-183.
10. Минакова Е. А., Шлычков А. П., Кондратьев С. А., Брюханов А. Ю. Влияние сельского хозяйства на формирование биогенной нагрузки Куйбышевского водохранилища. Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: сб. науч. тр. по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар: КубГАУ, 2020. С. 61-63.
11. Поздняков Ш. Р., Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Игнатова Н. В., Шмакова М. В., Минакова Е. А., Расулова А. М., Обломкова Н. С., Васильев Э. В., Терехов А. В. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования). Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 588-602.

References

1. Develop nutrient-balanced and "low nutrient surplus" agriculture in Baltic Sea Basin. Annual Activities Report 2017. Uppsala, Sweden: Coalition Clean Baltic. 2018. 102 p.
2. Weigelhofer G., Hein T., Bondar-Kunze E. Phosphorus and nitrogen dynamics in riverine systems: Human impacts and management options. Riverine Ecosystem Management, Aquatic Ecology Series. London, UK: Springer. 2018. V. 8. Pp. 187-202.
3. Kirschke S., Häger A., Kirschke D., Völker J. Agricultural nitrogen pollution of freshwater in Germany, the governance of sustaining a complex problem. Water. 2019. V. 11 (12). P. 2450.

4. Kireicheva L. V., Lentyaeva E. A., Timoshkin A. D., Yashin V. M. Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the upper Volga basin and development of measures to reduce it using the example of the Yakhroma River. *Water resources*. 2020. V. 47. № 5. Pp. 523-535.
5. Holsten B., Trepel M. Nutrient balance and water pollution control. *Paludiculture – Productive Use of Wet Peatlands*. Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers. 2016. Pp. 106-109.
6. Harrison S., McAree C., Mulville W., Sullivan, T. The problem of agricultural diffuse pollution: Getting to the point. *Science of the Total Environment*. 2019. V. 677. Pp. 700-717.
7. McDowell R. W., Noble A., Pletnyakov P., Mosley L.M. Global database of diffuse riverine nitrogen and phosphorus loads and yields. *Geoscience Data Journal*. 2021. V. 8. Pp. 132-143.
8. Cheng J., Gong Y., Zhu D. Z., Xiao M., Zhang Z., Bi J., Wang K. Modeling the sources and retention of phosphorus nutrient in a coastal river system in China using SWAT. *Journal of Environmental Management* 2021. V. 278. P. 2. 111556.
9. Bryukhanov A. Yu., Kondratyev S. A., Oblomkova N. S., Oguzdin A. S., Subbotin I. A. Methodology for determining the biogenic load of agricultural production on water bodies. *Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry*. 2016. № 89. Pp. 175-183.
10. Minakova E. A., Shlychkov A. P., Kondratyev S. A., Bryukhanov A. Yu. The influence of agriculture on the formation of the biogenic load of the Kuibyshev reservoir. *Agrarian landscapes, their sustainability and development features: the materials of the International Scientific Environmental Conference*. Krasnodar: KubGAU, 2020. Pp. 61-63.
11. Pozdnyakov S. R., Bryukhanov A. Yu., Kondratyev S. A., Ignatiev N. V., Shmakova M. V., Minakova E. A., Rasulova A. M., Oblomkova N. S., Vasiliev E. V., Terekhov A. V. Prospects for reducing the removal of biogenic elements from river watersheds due to introduction of the best available agricultural production technologies (based on modeling results). *Water resources*. 2020. V. 47. No 5. Pp. 588-602.

Информация об авторах

Брюханов Александр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: sznii@yandex.ru

Васильев Эдуард Вадимович, кандидат технических наук, заведующий отделом анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: sznii6@yandex.ru

Папушин Эдуард Александрович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3), e-mail: papushina@yandex.ru

Author's Information

Bryukhanov Aleksandr Yurievich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, p.o. Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: sznii@yandex.ru

Vasilev Eduard Vadimovich, Candidate of Engineering Sciences, leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, p.o. Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: sznii6@yandex.ru.

Papushin Eduard Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196625, Saint Petersburg, p.o. Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: papushina@yandex.ru

DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION OF THE APPLICATION OF THE CLAMP OF ATOMIZER BODY CLAMP IN STRIP DIFFERENTIAL SPRAYING TECHNOLOGY

I. B. Borisenko, D. V. Skripkin, M. V. Meznikova, O. N. Romenskaya,
A. N. Sidorov, E. V. Gagarina

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: borisenivan@yandex.ru

Received 25.09.2023

Submitted 30.10.2023

The work was carried out within the framework of the thematic research plan under grant No. 123032200089-2, "Development of technology for strip differentiated spraying of potatoes as a resource-saving element of an integrated system of protection against pests and diseases using digitalization" of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Summary

The article presents a new technology of plant protection and care of vegetable crops in relation to the spraying system. As a result of the conducted work the analysis of the conducted research of methods of chemical plant protection is presented. The obtained comparative results showed that the proposed method of plant treatment with the use of the developed sprayer body clamp allows to significantly increasing the quality indicators of spraying and at the same time reduce economic costs.

Abstract

Introduction. Soil The development of vegetable crops production is a significant direction in the agro-industrial complex of our country. Increase of yield depends on the applied technologies of cultivation of agricultural crops. At the same time, the main criteria of efficiency of the used technologies are energy and resource intensity of the applied agricultural machinery. Increasing the productivity of machines used in technologies, it is necessary to take into account agrotechnical requirements to the conducted production operations. Thus, in the system of protection of agricultural plants from diseases and pests a big role is given to the operation of spraying. Improvement of methods of protection of cultivated crops from diseases and pests is included in the application of advanced methods and preparations for spraying. **Object.** The object of research are devices of fixation of nozzle bodies on sprayer booms. **Materials and methods.** Band differentiated spraying is economically advantageous when applying liquid fertilizers with high concentration or specific composition, including microelements or specialized fertilizers for specific crops, as well as protection products. In order to increase the quality indicators of drug distribution when spraying plants, it is proposed to carry out this treatment with nozzles set at an angle of 45 in the vertical plane in the direction towards each other installed above the centers of row spacing of row crops. The use of this scheme of installation of atomizers on spraying allows forming a powerful stable flow when combining two directed towards each other. This method is achieved by using clamps of atomizer bodies, which have the ability to move operatively along the sprayer boom to set the required band of treatment of the plant in accordance with the growing season. **Results and conclusions.** In the work the analysis of applied clamps of atomizer bodies for use in the technology of strip differentiated local application of working solution was carried out. Shortcomings in the use of used clamps were revealed and an improved design of the clamp was proposed, which provides practical and convenient use of the clamp and increases the speed of sprayer preparation for work. At the same time the increase of qualitative indicators with the reduction of economic costs of strip spraying is realized.

Key words: spraying of row crops, strip treatment, sprayer body clamping, strip differentiated spraying, quality indicators of spraying, phases of potato development, distribution of working solution.

Citation. Borisenko I. B., Skripkin D. V., Meznikova M. V., Romenskaya O. N., Sidorov A. N., Gagarina E. V. Development and justification of the application of the clamp of atomizer body clamp in strip differential spraying technology. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 367-379 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-37.

Author's contribution. All authors of this article were actively involved in the preparation, planning, conducting and processing the results of field studies of quality indicators on potato plantings, as well as the justification of theoretical parameters that increase the environmental safety of spraying in the reduction of pesticide loads on the soil and the environment.

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

УДК 632.08

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЖИМА КОРПУСА РАСПЫЛИТЕЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛОСОВОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ОПРЫСКИВАНИЯ

И. Б. Борисенко, доктор технических наук

Д. В. Скрипкин, кандидат технических наук

М. В. Мезникова, кандидат технических наук

О. Н. Роменская, кандидат сельскохозяйственных наук

А. Н. Сидоров, кандидат сельскохозяйственных наук

Е. В. Гагарина, аспирант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

*Работа выполнена в рамках тематического плана исследований за счет гранта
№ 123032200089-2, «Разработка технологии полосового дифференцированного
опрыскивания картофеля, как ресурсосберегающего элемента интегрированной
системы защиты от вредителей и болезней с использованием цифровизации»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации*

Актуальность. Развитие производства овощных культур является значимым направлением в агропромышленном комплексе нашей страны. Повышение урожайности зависит от применяемых технологий возделывания сельскохозяйственных культур. При этом основными критериями эффективности используемых технологий являются энерго- и ресурсоемкость применяемых сельскохозяйственных машин. Увеличивая производительность используемых в технологиях машин, необходимо учитывать агротехнические требования к проводимым производственным операциям. Таким образом, в системе защиты сельскохозяйственных растений от болезней и вредителей большая роль отводится операции опрыскивание. Совершенствование методов защиты возделываемых культур от воздействия болезней и вредителей заключается в применении передовых методов и препаратов при опрыскивании. **Объект.** Объектом исследований являются устройства фиксации корпусов форсунок на штангах опрыскивателя. **Материалы и методы.** Полосовое дифференцированное опрыскивание экономически выгодно при внесении жидких удобрений с высокой концентрацией или специфическим составом, включающим микроэлементы или специализированные удобрения для конкретных сельскохозяйственных культур, а также средств защиты. С целью улучшения качественных показателей распределения препаратов при опрыскивании растений предлагается осуществлять эту обработку форсунками, установленными под углом 45° в вертикальной плоскости в направлении друг к другу установленными над центрами междурядий пропашных культур. Использование данной схемы установки распылителей на опрыскивании позволяет сформировать мощный стабильный поток при объединении двух потоков направленных навстречу друг другу. Достигается этот метод применением зажимов корпусов распылителей, имеющих возможность оперативно-го перемещения вдоль штанги опрыскивателя для установки требуемой полосы обработки растения в соответствии с периодом вегетации. **Результаты и выводы.** В работе проведен анализ

применяемых зажимов корпусов распылителей для использования в технологии полосового дифференцированного локального внесения рабочего раствора. Выявлены недостатки в применении используемых зажимов и предложена усовершенствованная конструкция зажима, обеспечивающая практичное и удобное применение зажима и повышающая скорость подготовки опрыскивателя к работе. При этом выполняется увеличение качественных показателей со снижением экономических затрат на выполнение полосового опрыскивания.

Ключевые слова: *опрыскивание пропашных культур, полосовая обработка, зажим корпуса распылителя, полосовое дифференцированное опрыскивание, качественные показатели опрыскивания, фазы развития картофеля, распределение рабочего раствора.*

Цитирование. Борисенко И. Б., Скрипкин Д. В., Мезникова М. В., Роменская О. Н., Сидоров А. Н., Гагарина Е. В. Разработка и обоснование применения зажима корпуса распылителя в технологии полосового дифференцированного опрыскивания. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 367-379. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-37.

Авторский вклад. Все авторы представленного исследования принимали активное участие в проведении и обработке результатов исследований, а также обосновании теоретических параметров, повышающих экологическую безопасность опрыскивания в области сокращения пестицидной нагрузки на почву и окружающую среду. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Увеличение показателей урожайности овощных культур зависит, прежде всего, от развития технологий механизированных процессов. При этом основным условием эффективности возделывания остается минимизация энергоемкости процессов производства продукции с одновременным повышением качественных показателей [2].

Одним из главных направлений в совершенствовании технологического и технического процесса защиты и ухода за овощными культурами принадлежит операции опрыскивания. Применяемые в настоящее время технологии опрыскивания имеют большие затраты, выраженные в перерасходе препаратов и уязвимости качественных показателей при определенных условиях работы опрыскивателя. Основной задачей совершенствования технологий обработки и ухода жидкими средствами за овощными культурами сводится к снижению норм расхода растворов без снижения качества обработки на единицу обрабатываемой площади растений, а также выполнение требований экологической безопасности [1, 8].

При выращивании овощных культур одним из решений поставленных задач является внедрение технологических процессов полосового воздействия и разработка машин, способных выполнять процесс полосового опрыскивания.

Приоритетным направлением при защите овощных культур от заболеваний и вредителей остается использование новых схем опрыскивания и препаратов, оказывающих влияние на снижение химического воздействия экосистемы растений. При этом высокая эффективность воздействия наносимого микробиологического удобрения на овощные культуры достигается за счет применения разнообразных способов и методов, достигая высоких показателей защиты растений даже при минимально допустимых агротехнологиями объемах растворов. Данные подходы можно реализовать при освоении ресурсосберегающей технологии полосового дифференцированного опрыскивания в рамках интегрированной системы защиты от вредителей и болезней [9]. В основе разработанной технологии лежит локальное внесение рабочего раствора и его перераспределение с межполосного пространства на полосу нахождения культурного растения.

Особую актуальность данный подход приобретает при уходе за пропашными культурами, выращиваемыми по полосовой технологии, особенно для овощных культур [5]. Локальное внесение жидких удобрений и средств защиты предполагает полосовое распределение непосредственно около корневой зоны или по абрису вегетативной наземной части с учетом фазы развития растений. Такой подход рассматривается как элемент точного земледелия, позволяющий сократить потери при распределении питательных веществ и средств защиты растений. Применение полосового дифференцированного опрыскивания экономически выгодно при внесении жидких удобрений с высокой концентрацией или специфическим составом, включающим микроэлементы или специализированные удобрения для конкретных культур, а также средств защиты растений [12].

Материалы и методы. Центральное место в новой технологии отводится точному воздействию на растение и среду его обитания. Для пропашных овощных культур рекомендуется к применению способ полосового опрыскивания, обеспечивающего перераспределение рабочего раствора с междурядья на культурное растение. Технический результат достигается применением предложенного (Патенты на изобретение РФ №2709762, 2769737, 2783606, 2785465) (рисунок 1) способа опрыскивания путём нанесение раствора полосой над рядом овощных растений, применяя распылители, имеющие факел распыла 6580 градусов и установленные под углом в 45° к вертикальной плоскости над серединой междурядья и ориентированы друг к другу в поперечной плоскости. При этом пересекающиеся верхние края факелов форсунок, направленных друг на друга, образуют угол в диапазоне 155-170 градусов, а направленные края факелов к почве имеют угол 77,5-85 градусов и лежат в контуре проекции ряда растений на почву.

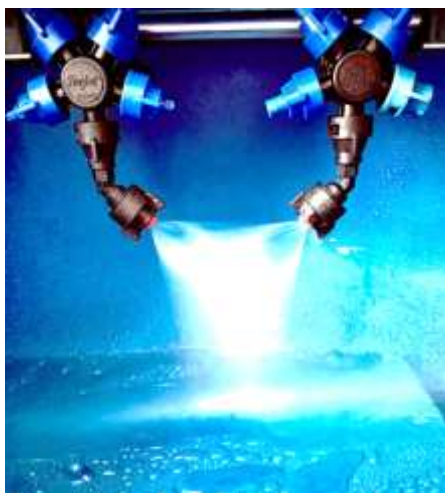


Рисунок 1 – Технологический процесс слияния факелов жидкости при полосовом способе дифференцированного опрыскивания

Figure 1 – Technological process of merging liquid torches with the strip method of differentiated spraying

С целью наилучшего перераспределения рабочего раствора в обрабатываемом ряду растений по всему их контуру и во всех плоскостях обработку осуществляют распылителями с углом опрыскивания 65 или 80° градусов с направленным вектором бокового распыла под углом 45° градусов и ориентированными навстречу друг к другу [3, 6].

При технологическом процессе способа бокового опрыскивания, при слиянии потоков от каждой форсунки, происходит преобразование в новый, более стабильный поток со стабильными геометрическими параметрами, начиная с высоты 0,5 м. Теоре-

тические и лабораторные исследования показали, что с учетом допустимых вертикальных и угловых перемещений штанги опрыскивателя изменение ширины пятна опрыскивания составляет: с 557 мм до 555 мм для распылителей имеющие угол распыла 65° , а для распылителей, имеющих угол распыла 80° , отклонение составляет от 593 мм до 589 мм (рисунок 2).

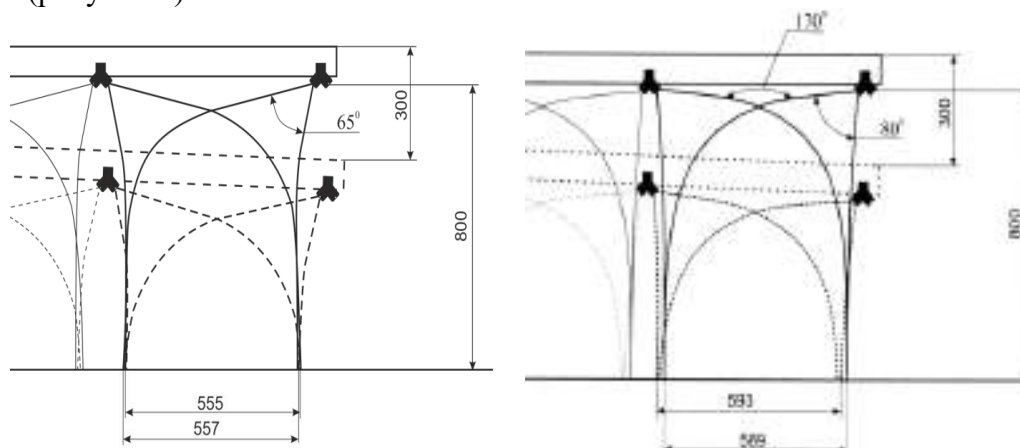


Рисунок 2 – Технологическая схема слияния потоков рабочей жидкости при полосовом опрыскивании для форсунок с углом распыления 65° и 80°

Figure 2 – Flow diagram of the confluence of working fluid flows during strip spraying for nozzles with a spray angle of 65° and 80°

На рисунке 3 представлена схема величины зоны распределения рабочего раствора для распылителей с углами распыла 65 и 80 градусов в зависимости от перемещений штанги опрыскивателя с вертикальным процессом опрыскивания [4, 6].

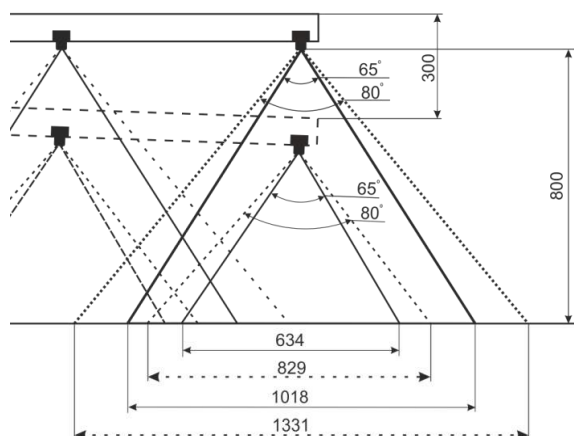


Рисунок 3 – Влияние перемещения штанги опрыскивателя с вертикальными распылителями на величину пятна распыла (форсунки с углом распыления 65° и 80°)

Figure 3 – The effect of moving the sprayer rod with vertical sprayers on the size of the spray spot (nozzles with a spray angle of 65° and 80°)

Для серийных опрыскивателей штангового типа перемещения штанги в вертикальной плоскости достигает значения в 300 мм, при этом для распылителей, имеющие угол 65° , зона полосы опрыскивания возрастает с 634 мм до 1018 мм, а для форсунок, имеющих угол распыления 80° , соответственно зона опрыскивания будет находиться в пределах от 829 мм до 1331 мм. Соответственно, возрастание величины обрабатываемой зоны опрыскивания будет составлять 38 %, что приводит к неэффективному расхода-

нию рабочего раствора, необоснованному загрязнению почвы и высокому риску механического повреждению растений. Технологическая особенность нового способа нанесения раствора на растение заключается в снижении линейного размера пятна распыла при вертикальном допустимом изменении положения штанги в пределах 1%. В то время, как неравномерность для распылителей, имеющих угол распыла 65° , составляет 45,5%. А неравномерность распылителей с углом распыла 80° , соответственно, равна 37,7%.

Результаты и обсуждение. Способ полосовой обработки овощных культур предусматривает изменение ширины обрабатываемой полосы, с учетом фазы развития растений, что достигается за счет применения зажимов различного размещения для использования на корпусах штанги с навесным шлангом Quick Teejet. Данные зажимы можно использовать с установленными корпусами насадок на различных профилях несущих конструкций штанг опрыскивателей. Для круглого профиля труб используют зажимы корпуса насадок, представленные рисунке 4. Для квадратного профиля труб используют зажимы корпуса насадок, представленных на рисунке 5. Квадратный профиль предпочтителен, так как установленный зажим будет ориентироваться в трех плоскостях, соответственно и устанавливаемый корпус насадки, что очень важно при регулировках ширины обрабатываемой полосы при полосовом опрыскивании. Зажимы изготавливают из толстолистовой анодированной или из нержавеющей стали.



Рисунок 4 – Зажим для размещения корпуса насадки на круглых трубах размерами от $1/2''$ до $1\ 1/16''$
Figure 4 – Clamp for placing the nozzle body on round pipes with sizes from $1/2''$ to $1\ 1/16''$



Рисунок 5 – Зажим для размещения корпуса насадки на квадратных трубах
размерами $3/4''$ до $1\ 1/2''$

Figure 5 – Clamp for placing the nozzle body on square pipes with sizes $3/4''$ up to $1\ 1/2''$

Применение зажимов в предложенной технологии позволяет осуществлять высокую точность и скорость настройки опрыскивателя на соответствующую ширину обработки полосы в соответствии с учетом периода вегетации обрабатываемого растения [10]. Такая работа осуществляется путем перемещения зажимов по направляющей штанге опрыскивателя в соответствующее место установки путем ослабления фикси-

рующего винта, в последующем полной фиксации после установки всех зажимов, в соответствии с выбранной схемой и размерам ширины полосы опрыскивания. Однако применение стандартных зажимов с навесным шлангом от производителя Quick Teejet имеет ряд недостатков. К недостаткам зажимов относится сложность изготовления профиля зажима и низкая надежность, обусловленная усложненной процедурой установки зажима на штангу опрыскивателя. Отсутствие надежной фиксации резьбового соединения зажима, влекущее самопроизвольное ослабление соединения в процессе работы от возникающих вибрационных воздействий на шланг опрыскивателя.

С целью снижения затрат на изготовление, повышения скорости монтажа на штанге и надежной фиксации нами предложена конструкция зажима под корпуса распылителя производства Teejet (рисунок 6). Зажим состоит из нижней фигурной планки (4) и верхней плоской пластины (3). Профиль Γ фигурной планки (4) с трех сторон копирует профиль штанги (2). На переднем конце нижней фигурной планки и верхней плоской пластины выполнены проточки (5, 10). На нижней фигурной планке проточка выполнена вдоль профиля штанги (2). С противоположной стороны выполнено резьбовое отверстие (6). На верхней плоской пластине проточки (10, 11) выполнены перпендикулярно профилю штанги (2). Верхняя пластина имеет изгиб в 4-6° со стороны крепления к профилю штанги (2).

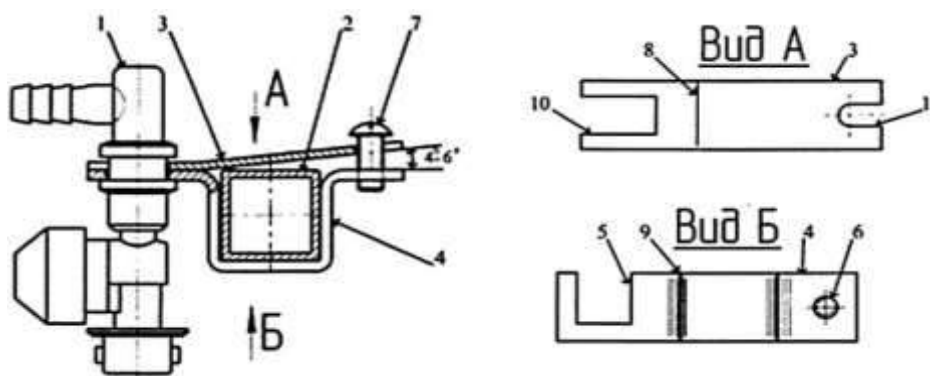


Рисунок 6 – Зажим для корпусов насадок с гибкими шлангами

1 – корпус насадки распылителя; 2 – профильная труба; 3, 4 – верхний и нижний зажим; 5 – проточка нижнего зажима; 6 – резьбовое отверстие; 7 – болт; 8 – линия сгиба верхнего зажима; 9 – линия изгиба отогнутого конца нижнего зажима; 10 – проточка; 11 – проточка соединительная

Figure 6 – Clamp for nozzle housings with flexible hoses

1 – spray nozzle body, 2 – profile pipe, 3, 4 – upper and lower clamp, 5 – groove of the lower clamp, 6 – threaded hole, 7 – bolt, 8 – bending line of the upper clamp, 9 – bending line of the bent end of the lower clamp, 10 – groove, 11 – connecting groove

Корпус насадки (1), установочным местом в виде квадрата, сторона которого равна ширине проточек (5, 10), вставляется в проточку (5) нижней фигурной планки ориентируя нужное направление вдоль профиля штанги (2). В такой сборке профилем Γ фигурная планка (4) устанавливается на штанге (2) и фиксируется верхней (3) плоской пластиной, вставляя проточкой (10) в корпус насадки (1). Зажим в собранном виде охватывают профиль штанги (2) опрыскивателя снизу фигурной планкой (4) и плоскостью верхней (3) пластины. Соединительным болтом (7) зажим стягивается, ориентируя корпус распылителя (1) вдоль штанги, и фиксирует расстояние между распылителями (1). Изгиб 4-6°, выполненный на верхней пластине, позволяет при стягивании соединительного болта (7) выбрать зазоры в квадратном установочном месте насадки (1) и сделать предварительный натяг в зажиме.

Разработанный зажим с корпусами насадок для гибких шлангов работает следующим образом. Для крепления насадки корпуса (1) к профильной трубе (2) с возможностью перемещения вдоль на штанге опрыскивателя, в проточку (5) фигурной планки (4) зажима устанавливается данный корпус. В размеченном месте на профиле трубы (2) штанги снизу устанавливается фигурная планка (4) и фиксируется верхней (3) плоской пластиной, вставив проточкой (10) в место крепления корпуса насадки (1), образуя замкнутый профиль. Далее, через проточку (11), вставляется болт (7) в резьбовое отверстие (6). Закручивая болт (7), стягиваются верхняя (3) пластина и фигурная планка (4) зажима. При стягивании зажима, концы проточек (10) и (5) будут разжиматься, фиксируя и ориентируя корпус насадки (1) вдоль профиля трубы штанги (2) опрыскивателя. В собранном виде зажим фиксирует корпус насадки (1) и охватывает профиль штанги опрыскивателя с возможностью перемещения вдоль штанги опрыскивателя регулируя ширину полосы обработки при ослаблении фиксирующего болта (7).

Использование полосового технологического процесса опрыскивания с применением предложенных зажимов для оперативного изменения полосы опрыскивания позволяет снизить гектарную норму рабочего раствора относительно традиционной технологии опрыскивания, не снижая нормы внесения по ширине обрабатываемой полосы, а процесс настройки оборудования сделать быстрым и технологичным [13, 14, 15].

Изменение расхода рабочей жидкости $Q_{\text{ж}}$, при полосовом опрыскивании, в процентах, относительно сплошного способа опрыскивания, определяется выражением:

$$Q_{\text{ж}} = 10^2 \frac{Q_{\text{л}} - Q_{\text{с}}}{Q_{\text{с}}}, \quad (1)$$

где: $Q_{\text{л}}$ – расход рабочего раствора на гектар при полосовом способе опрыскивания, $\text{дм}^3/\text{га}$;
 $Q_{\text{с}}$ – расход рабочей жидкости на гектар при сплошном способе опрыскивания, $\text{дм}^3/\text{га}$.

Настройка опрыскивателя на норму расхода рабочего раствора по технологии сплошного опрыскивания выполнялась согласно ГОСТ 34630-2019 подбором распылителя на норму расхода жидкости согласно справочникам с учетом эксплуатационных параметров опрыскивателя по формуле:

$$q = \frac{Q_{\text{с}} M v_{\text{р}}}{600}, \quad (2)$$

где: q – норма вылива рабочего раствора, $\text{дм}^3/\text{мин}$; $Q_{\text{с}}$ – заданный расход рабочего раствора на гектар, $\text{дм}^3/\text{га}$; M – расстояние между распылителями, м; $v_{\text{р}}$ – рабочая скорость опрыскивателя, $\text{км}/\text{ч}$.

Соотношение величин обрабатываемой и необрабатываемой полос позволяет снизить гектарную норму раствора жидкости, не снижая нормы на объекте воздействия. При полосовом внесении удобрений норму расхода жидкости $q_{\text{л}}$, $\text{дм}^3/\text{мин}$, можно рассчитать по формуле:

$$q_{\text{л}} = q \frac{b_{\text{л}}}{b_{\text{м}}}, \quad (3)$$

где: $b_{\text{л}}$ – ширина обрабатываемой полосы, м; $b_{\text{м}}$ – ширина междурядья, м.

Отношение между шириной обрабатываемой полосы $b_{\text{л}}$ и шириной принятого междурядья $b_{\text{м}}$ показывает коэффициент распределения полосового опрыскивания $K_{\text{р}} = \frac{b_{\text{л}}}{b_{\text{м}}}$.

При переходе на полосовое опрыскивание для сохранения нормы внесения рабочего раствора на объекте обработки, как и при сплошном опрыскивании, расход распылителя $q_{\text{л}}$ должен быть снижен на величину коэффициента распределения полосового опрыскивания на поверхности почвы:

$$K_p = \frac{b_d}{b_m}, \quad (4)$$

где: b_d – ширина обрабатываемой полосы, м; b_m – ширина междурядья, м.

При перенастройке технологического процесса со сплошного на полосовое опрыскивание, при равных эксплуатационных показателях работы опрыскивателя, изменится гектарная норма внесения рабочей жидкости.

При переводе опрыскивателя на технологический процесс полосового опрыскивания гектарная норма опрыскивания изменится с учетом величины коэффициента распределения полосового опрыскивания K_p

$$Q_l = \frac{q_{p600}}{Mv_p}, \quad (5)$$

Технологический процесс опрыскивания является одним из главных показателей эффективности производства пропашных культур, что подтверждается полевыми исследованиями при переводе с обычной технологии опрыскивания на технологический процесс полосовой обработки. Величина снижения гектарной нормы внесения СЗР (средства защиты растений) и ЖУ (жидкие удобрения) при условии, что норма внесения на объект обработки остается неизменной, определяется выражением (6) и графически представлено на рисунке 7:

$$Q_{ж} = 10^2 \frac{Q_c K_p - Q_c}{Q_c} = 10^2 \left(\frac{b_d}{b_m} - 1 \right). \quad (6)$$

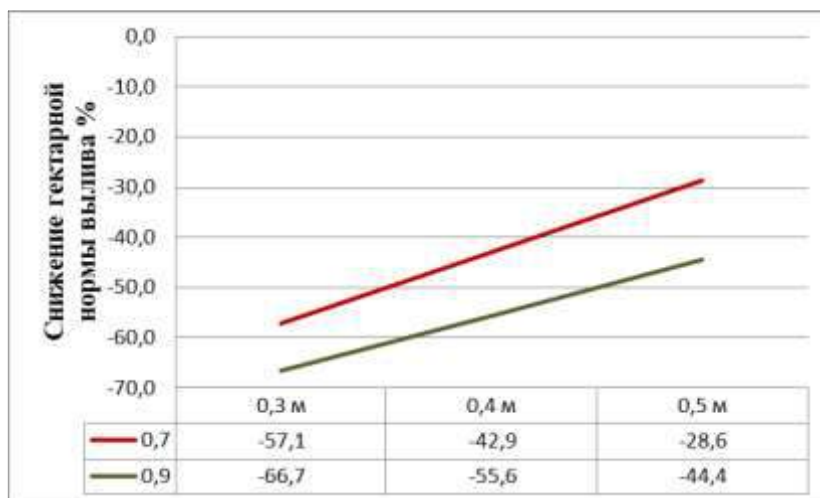


Рисунок 7 – Влияние ширины обрабатываемой полосы на гектарную норму расхода рабочего раствора при полосовом и сплошном способах опрыскивания

Figure 7 – Influence of the width of the treated strip on the hectare rate of consumption of the working solution for strip and continuous spraying methods

Из рисунка 7 видно, что уменьшение величины обрабатываемой полосы при технологии полосового опрыскивания позволяет значительно снизить гектарную норму внесения СЗР и внесение ЖУ относительно сплошного внесения при одинаковой норме воздействия на обрабатываемый объект [3, 6].

Зная динамику вегетативного развития наземной части обрабатываемой культуры, можно более точно запланировать расходы на приобретение средств защиты и питания растений с учетом применяемой технологии опрыскивания. На основе проведенного мониторинга развития картофеля сорта «Отолия», построена зависимость по дан-

ному показателю (рисунок 8). Полученная зависимость позволяет более точно составить дорожную карту использования опрыскивателя и необходимых средств по уходу за данной культурой.



Рисунок 8 – Динамика развития вегетативной наземной части картофеля
Figure 8 – Dynamics of development of vegetative ground part of potatoes

Сопоставляя зависимости на рисунках 7 и 8, учитывая выражение 6, рассчитывается потребление (расход) средств защиты и питания для выращиваемой культуры [7, 11].

Заключение. Применение усовершенствованного технологического процесса полосового опрыскивания позволяет сократить гектарную норму внесения пестицидов, снизить затраты на обработку и повысить экологическую безопасность опрыскивания, повысить качественные показатели опрыскивания и оперативность настройки оборудования под конкретную фазу роста культуры с учетом ее архитектурных особенностей.

Предложенная конструкция зажима корпуса насадки распылителя позволяет снизить затраты на его производство, повысить надежность фиксации изделия на профиле штанги опрыскивателя, а также удобство выполнения настройки и регулировки агрегата под усовершенствованную технологию полосовой обработки овощных культур с учетом фазы развития выращиваемой культуры.

Conclusions. The use of an improved technological process of strip spraying makes it possible to reduce the hectare rate of pesticide application, reduce processing costs and improve the environmental safety of spraying, improve the quality of spraying and the efficiency of setting up equipment for a specific phase of crop growth, taking into account its architectural features.

The proposed design of the sprayer nozzle housing clamp allows to reduce the cost of its production, increase the reliability of fixing the product on the profile of the sprayer rod, as well as the convenience of setting up and adjusting the unit for the improved technology of strip processing of vegetable crops, taking into account the phase of development of the cultivated crop.

Библиографический список

1. Белоусов С. В., Вчерашняя С. Н., Ханин Ю. В. Жидкие комплексные удобрения как основа стабильного урожая. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 186. С. 254-265.
2. Иванов А. Ю., Дурманов Н. Д., Орлов М. П., Пиксендеев К. В., Ровнов Ю. Е., Лукша П. О., Макаров И. А., Птичников А. В., Степанов И. А., Харченко М. М., Чертков Г. М. Битва за климат: Углеродное фермерство как ставка России. Москва, 2021. 120 с.
3. Борисенко И. Б., Мезникова М. В., Улыбина Е. И. Теоретическое обоснование равномерности нанесения рабочего раствора на объект воздействия при обработке пропашных культур способом полосового опрыскивания. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 296–305.
4. Бородычев В. В., Новиков А. Е., Филимонов М. И., Ламскова М. И. Исследование насадки с малоэнергоемким искусственным дождем. Научная жизнь. 2016. № 2. С. 50-57.

5. Медведев Г. А., Екатериничева Н. Г., Ткаченко А. В. Эффективность инновационных систем возделывания подсолнечника на южных черноземах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 116–124.
6. Мезникова М. В. Влияние технологических параметров вертикального опрыскивания на обеспечение экологической безопасности при возделывании пропашных культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 502–514.
7. Мезникова М. В. Методика оценки качественных показателей опрыскивания на основе анализа тонового изображения объекта в цветовом пространстве файла. Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 3 (59). С. 61–71.
8. Мельник В. И. Эволюция систем земледелия - взгляд в будущее. Земледелие. 2015. № 1. С. 8-12.
9. Свиридов А. С., Катаев Ю. В., Загоруйко М. Г. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей. Аграрный научный журнал. 2021. № 6. С. 96-100.
10. Славкина В. Э., Свиридов А. С., Арумугам Г., Гончарова Ю. А., Касимов Р. М. Разработка конструкции щелевого сельскохозяйственного распылителя и исследование его выходных параметров. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 4. С. 34-37.
11. Чамурлиев О. Г., Сидоров А. Н., Холод А. А., Чамурлиев Г. О. Изучение эффективности минеральных удобрений на подсолнечнике в открытом грунте при орошении в условиях Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 69-76.
12. Чурзин В. Н., Дубовченко А. О. Урожайность гибридов подсолнечника в зависимости от влагообеспеченности посевов на черноземах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 158–167.
13. Bursić V., Stojanović T., Petrović A., Marinković D., Konstantinović B., Vuković G., Cara M., Kostić M., Puvāča N. Plant protection products residues assessment in the organic and conventional agricultural production // Sustainability. 2021. V. 13. № 3.
14. Terra F. P., Nascimento G. H. D., Duarte G. A., Drews-jr P. L. J. Autonomous agricultural sprayer using machine vision and nozzle control. Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2021. V. 102. № 2. Pp. 1-18.
15. Fabula J. V., Sharda A., Mishler B. Quantification of self-propelled sprayers turn compensation feature utilization and advantages during on-farm applications. Precision Agriculture. 2022. V. 23. № 5. Pp. 1675-1687.

References

1. Belousov S. V., Vcherashniya S. N., Khanin Yu. V. Liquid complex fertilizers as the basis of a stable crop. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2023. No 186. Pp. 254-265.
2. Ivanov A. Yu., Durmanov N. D., Orlov M. P., Piksendeev K. V., Rovnov Yu. E., Luksha P. O., Makarov I. A., Ptichnikov A. V., Stepanov I. A., Kharchenko M. M., Chertkov G. M. The battle for climate: Carbon farming as the stake of Russia. Publishing House of the Higher School of Economics. Moscow, 2021. 120 p.
3. Borisenko I. B., Meznikova M. V., Ulybina E. I. Theoretical justification of the uniformity of the application of the working solution to the object of influence during the processing of row crops by strip spraying. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education. 2021. No. 4 (64). Pp. 296-305.
4. Borodychev V. V., Novikov A. E., Filimonov M. I., Lamskova M. I. Investigation of a nozzle with low-energy artificial rain. Scientific life. 2016. No. 2. Pp. 50-57.
5. Medvedev G. A., Yekaterinicheva N. G., Tkachenko A. V. Efficiency of innovative sunflower cultivation systems in the southern chernozems of the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education. 2020. No 3 (59). Pp. 116-124.

6. Meznikova M. V. The influence of technological parameters of vertical spraying on ensuring environmental safety in the cultivation of row crops. *Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversitetskogo kompleksa: science and higher professional education*. 2022. No 4 (68). Pp. 502-514.
7. Meznikova M. V. Methodology for assessing the qualitative indicators of spraying based on the analysis of the tone image of the object in the color space of the file. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*. 2022. V. 15. No 3 (59). Pp. 61-71.
8. Melnik V. I. Evolution of farming systems - a look into the future. *Agriculture*. 2015. No 1. Pp. 8-12.
9. Sviridov A. S., Kataev Yu. V., Zagoruiko M. G. Analysis of types of sprayers of agricultural sprayers. *Agrarian scientific journal*. 2021. No 6. Pp. 96-100.
10. Slavkina V. E., Sviridov A. S., Arumugam G., Goncharova Yu. A., Kasimov R. M. Design development of a slot agricultural sprayer and investigation of its output parameters. *Agricultural machines and technologies*. 2022. Vol. 16. No 4. Pp. 34-37.
11. Chamurliov O. G., Sidorov A. N., Kholod A. A., Chamurliov G. O. The study of the effectiveness of mineral fertilizers on a subsalt in the open ground during irrigation in the conditions of the Volgograd region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education*. 2022. No 4 (68). Pp. 69-76.
12. Churzin V. N., Dubovchenko A. O. The yield of sunflower hybrids depending on the moisture availability of crops in the chernozems of the Volgograd region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education*. 2020. No 1 (57). Pp. 158-167.
13. Bursich V., Stoyanovich T., Petrovich A., Marinkovich D., Konstantinovich B., Vukovich G., Kara M., Kostic M., Puvacha N. Evaluation of residues of plant protection products in organic and traditional agricultural production. *Sustainability*. 2021. V. 13. No 3.
14. Terra F. P., Nascimento G. H. D., Duarte G. A., Druce Jr. P. L. J. Autonomous agricultural sprayer using machine vision and nozzle control. *Journal of intelligent and robotic systems*. 2021. V. 102. No 2. Pp. 1-18.
15. Plot J. V., Sharda A., Mishler B. Quantitative assessment of the use of the rotation compensation function of self-propelled sprayers and advantages when used on farms. *Precision agriculture*. 2022. V. 23. No 5. Pp. 1675-1687.

Информация об авторах

Борисенко Иван Борисович, Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор, старший научный сотрудник кафедры "Земледелие и агрохимия", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru

Скрипкин Дмитрий Владимирович, научный сотрудник «НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий», кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: umka525@mail.ru

Мезникова Марина Викторовна, старший научный сотрудник «НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий», кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Роменская Ольга Николаевна, научный сотрудник «НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий», кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Сидоров Александр Николаевич, старший научный сотрудник «НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий», кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Гагарина Елена Викторовна, аспирант кафедры "Земледелие и агрохимия", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26).

Author's Information

Borisenko Ivan Borisovich, Honored Inventor of the Russian Federation, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher, Professor, Senior Researcher of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru.

Skripkin Dmitry Vladimirovich, Researcher at the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: umka525@mail.ru.

Meznikova Marina Viktorovna, Senior Researcher at the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26).

Romenskaya Olga Nikolaevna, Research Associate of the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26).

Sidorov Aleksander Nikolaevich, Senior Researcher at the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26).

Gagarina Elena Viktorovna, Graduate student of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-38

IMPROVING THE QUALITY OF IRRIGATION WATER BY VACUUM TREATMENT

E. P. Borovoy¹, O. N. Volskaya², S. M. Grigorov¹, A. A. Churakov², L. W. Kamysheva³

¹*Volgograd State Agrarian University*

²*Volgograd State Technical University*

³*Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President
of the Russian Federation
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: borovoy.e.p@mail.ru

Received 01.08.2023

Submitted 20.11.2023

Abstract

Introduction. The relevance is due to the maintenance of water-ecological balance on irrigation systems during operation. The water-ecological balance on irrigation systems takes place if the intake of water for irrigation from a water source during the acute arid periods of vegetation does not exceed the established sanitary norm. Currently, water sources, both surface and underground, due to man-made impacts on them, exceed the sanitary norm in various indicators, which leads to the development and implementation of new water purification technologies in irrigation systems. In the specific studies at the experimental production site of the Volgograd State Agrarian University "Innovative Village" presented in the article, water treatment, namely, groundwater was intended for drip irrigation systems, since this irrigation method is being introduced in steppe, semi-desert and desert areas suffering from water scarcity, which includes the Volgograd region.

The selected site for the drip irrigation system took into account the specific characteristics of the cultivated crops, the duration of vegetation, the spread of the root system, as well as the requirements for soil, climatic, hydrogeological and relief conditions and the qualitative composition of water. Having studied the composition of groundwater from a well located near the irrigated area, the authors proposed not only their patented method of groundwater purification, but also a method of its activation.

The simultaneous use of both methods in the installation scheme for the purification and activation of groundwater is the main advantage that distinguishes this technology from all existing ones. This scheme allows you to increase the yield and quality of tomatoes grown with minimal energy consumption, prostate and maintenance safety, achieving high quality purification and activation of water for drip irrigation. **Object.** The research area is a drip irrigation system at the experimental production site of the Volgograd State Agrarian University "Innovative Village" **Materials and methods.** The bulk of the research work was carried out at the experimental production site of the Volgograd State Agrarian University "Innovative Village". The study is based on reagent-free purification from suspensions, iron and other impurities by vacuum-ejection method and activation of water by vacuum method using a vacuum

activator developed by the authors. An integrated approach, which provides for the need to simultaneously solve a number of related root problems of water treatment, makes the proposed technology universal for both irrigation systems and domestic drinking water supply. **Results and conclusions.** The first stage of research of the water purification plant was carried out in laboratory conditions on a hydraulic model at the Department of Water Supply of the Volgograd State Agrarian University "Innovative Village", the second stage of tests for purification and activation of water was carried out at the pilot production site before the start of sowing tomatoes in the ground, at the installation with a capacity of 10 m³/ day. The second stage included the work performed in the following sequence: first, we achieved stable operation of the water purification unit by vacuum-ejection method, and then we achieved stable operation of the water activation unit using a vacuum activator. The final tests were carried out at the start of both installations. The installations worked in semi-automatic mode. It should be noted that the vacuum-ejection unit includes a vacuum-ejection oxidizer and a semi-automatic sand filter, working as a single unit.

Key words: *semi-automatic sand filters, vacuum activators, vacuum-ejection oxidizers, water activation technologies, drip irrigation.*

Citation. Borovoy E. P., Volskaya O. N., Grigorov S. M., Churakov A. A., Kamyshanova L. V. Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 379-388 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-38.

Author's contribution. The authors of this study conducted a number of laboratory and pilot-industrial tests, the results of which are presented in this article.

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

УДК 628.1.034.3

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКИ

Е. П. Боровой¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

О. Н. Вольская², кандидат технических наук, доцент

С. М. Григоров¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А. А. Чураков², кандидат технических наук

Л. В. Камышанова³, старший преподаватель

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет

³Российская академия народного хозяйства и государственной службы

при Президенте Российской Федерации

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность обусловлена поддержанием водно-экологического равновесия на оросительных системах в период эксплуатации. «Водно-экологическое равновесие на оросительных системах имеет место, если забор воды для орошения из водоисточника в острозасушливые периоды вегетации не превышает установленной санитарной нормы». В настоящее время источники воды, как поверхностные, так и подземные, вследствие техногенного воздействия на них превышают санитарную норму по различным показателям, что приводит к разработке и внедрению новых технологий очистки воды на оросительных системах. В намеченных исследованиях на опытно-производственном участке ВолГГАУ «Инновационная деревня», представленных в статье, подготовка воды, а именно подземной воды, будет выполнена для системы капельного орошения, так как этот способ полива внедряется в степных, полупустынных и пустынных областях, страдающих дефицитом воды, к которым относится и Волгоградская область.

Выбранный участок под систему капельного орошения учитывает видовые признаки выращиваемых сельскохозяйственных культур, продолжительность вегетации, распространение

корневой системы, также требования к почвенным, климатическим, гидрогеологическим и рельефным условиям и качественному составу воды. Изучив состав подземной воды из скважины, находящейся вблизи орошаемого участка, авторы предложили не только запатентованный ими способ очистки подземной воды, но и способ ее активации.

Одновременное применение обоих способов в схеме установки для очистки и активации подземной воды является основным преимуществом, отличающим данную технологию от всех существующих. Данная схема позволяет повысить урожайность и качество выращиваемых томатов при минимальных затратах энергии, при простоте и безопасности обслуживания, достигая высокого качества очистки и активации воды для капельного орошения. **Объект.** Территория исследования – система капельного орошения на опытно-производственном участке ВолГАУ «Инновационная деревня». **Материалы и методы.** Основной объем исследовательских работ авторы намереваются проводить на опытно-производственном участке ВолГАУ «Инновационная деревня». Исследование будет основано на безреагентной очистке от взвесей, железа и др. примесей вакуумно-эжекционным способом и активации воды вакуумным способом с помощью вакуумного активатора, разработанного авторами. Комплексный подход, предусматривающий необходимость одновременного решения целого ряда сопутствующих коренных проблем водоочистки, делает предлагаемую технологию универсальной как для оросительных систем, так и для хозяйственно-питьевого водоснабжения. **Результаты и выводы.** Первый этап исследований установки по очистке воды проводили в лабораторных условиях на соответствующей гидравлической модели, второй этап испытаний по очистке и активации воды планируется провести на опытно-производственном участке ВолГАУ «Инновационная деревня» до начала посева томатов в грунт, на установке производительностью 10 м³/сут. Второй этап предусматривает работы, которые будут выполняться в следующей последовательности: стабилизация режима работы установки по очистке воды вакуумно-эжекционным способом, далее стабилизация режима работы установки по активации воды с помощью вакуумного активатора. Окончательные испытания запланированы при пуске обеих установок, которые будут работать в полуавтоматическом режиме. Необходимо отметить, что вакуумно-эжекционная установка включает в себя вакуумно-эжекционный окислитель и полуавтоматический песчаный фильтр.

Ключевые слова: полуавтоматические песчаные фильтры, вакуумные активаторы, вакуумно-эжекционные окислители, технологии активации воды, капельное орошение.

Цитирование. Боровой Е. П., Вольская О. Н., Григоров С. М., Чураков А. А., Камышанова Л. В. Улучшение качества оросительной воды методом вакуумной обработки. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 379-388. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-38.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования провели ряд лабораторных и опытно-промышленных испытаний, результаты которых представлены в данной статье.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Водно-экологическое равновесие на оросительных системах будет иметь место, если забор воды для орошения из водных источников в острозасушливые периоды вегетации не превысит установленной санитарной нормы, а следствием орошения не окажутся формирование эрозионно-опасного стока, нежелательное изменение природного режима грунтовых вод и неблагоприятные изменения водно-солевого режима орошаемых площадей и прилегающих к ним территорий.

Ограничения на нормы изъятия природных вод из водоисточников и нормы водоподачи известны [1]. Все они ставят своей целью сохранение водно-экологического равновесия, характерного для автоморфного почвообразования на орошаемых площадях, а также не нарушение природной экологической ситуации, сложившейся до начала орошения на прилегающих территориях. К нормативам функционирования оросительных систем, характеризующим водно-экологическое равновесие, можно отнести показатели

качества поливной воды» [7]. Вопросами качества поливной воды ученые занимаются на протяжении многих лет [3, 4, 5]. Авторы также занимаются этой проблемой более одного десятилетия. Нами разработана эффективная схема очистки подземных вод с одновременной активацией ее для капельного орошения. Лабораторные исследования, проводимые по вышеупомянутой схеме, как и исследования многих ученых, ставили своей целью, разработать способ и устройства для очистки и активации подземных вод для капельного орошения, которые дадут возможность повысить урожайность и качество выращиваемых растений при минимальных затратах энергии, простоте и безопасности их обслуживания [1].

Объект исследования. Территория испытания – система капельного орошения на опытно-производственном участке ВолГАУ «Инновационная деревня» с предварительными лабораторными исследованиями модели установки по очистке воды.

Материалы и методы. Исследования основаны на внедрении двух способов обработки воды: первый – вакуумно-эжекционный, второй – вакуумная активация. Обе установки относятся к мелиорации, в частности к установкам для проведения мелиоративных процессов: орошения с одновременной активацией воды для получения высоких урожаев и качественной продукции растениеводства. Для анализа положительного воздействия активированной воды на рост, урожайность и качество томатов авторами предлагается поделить орошаемый участок на 2 участка. Орошение томатов на первом участке планируется проводить простой водой из скважины, а на втором участке – по разработанной схеме (рисунок 1).

Комплекс устройств и оборудования, показанных на схеме (рисунок 1), содержал насос 4, соединенный всасывающим трубопроводом 3 через задвижку 2 со скважиной 1 и напорным трубопроводом 5 через задвижку 22 – с линией подключения к системе капельного орошения участка. Вакуумно-эжекционная установка 8, предназначенная для очистки подземной воды от взвесей, железа и др. примесей, вакуумный активатор 16, предназначенный для активации воды, циркуляционная емкость 19 соединены между собой последовательно трубопроводами 6, 9, 11, 12, 15, 18, 21 через задвижки 7, 10, 13, 14, 17, 20. Схема работает следующим образом. Подземная вода из скважины 1 по всасывающему трубопроводу 3 через открытую задвижку 2 подается на насос 4 и далее по напорному трубопроводу 6 через открытую задвижку 7 на вакуумно-эжекционную установку 8. При этом задвижки 13, 14, 10, 20 закрыты, задвижка 17 открыта. В этом режиме вода после очистки от взвесей, железа и др. примесей через открытую задвижку 17 подается в циркуляционный бак 19, где происходит его заполнение. При заполнении водой бака (по показаниям расходомеров или уровня воды в емкости 19) насос 4 отключается, закрывается задвижки 2 и 6, открывается задвижка 14 и 20, включается насос и очищенная вода по контуру позиций 20, 21, 12, 13, 3, 4, 14, 15 поступает на дегазатор 16. При этом задвижки 2, 7, 17 закрыты. В дегазаторе 16 вода активируется и циркулирует по контуру 16, 18, 19, 20, 21, 12, 13, 3, 4, 14, 15, 16, 18, 19 «до показателя оптической плотности $D = 0,09 - 0,12$, как основного показателя кавитационных процессов, определяемого на турбидиметрическом анализаторе жидкости АЖСТ-94. В процессе исследования активированной воды определялись дополнительно температура нагрева $t^{\circ}\text{C}$, кислотность воды – рН, общая жесткость воды» [7]. Как только активированная вода достигала указанных показателей оптической плотности, в течение часа, эту воду подавали в систему капельного орошения на полив томатов. Причем полив томатов чередовали, т.е. первый полив проводили очищенной водой по контуру 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 3, 4, 22, 23, второй активированной водой по контуру 3, 4, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 12, 13, 3, 4, 22, 23. Процесс очистки от взвесей, железа и др. примесей проходил на вакуумно-

эжекционной установке 8, показанной на рис. 2 и включающей в себя вакуумно-эжекционный окислитель 1' и песчаный фильтр с элементами 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10', 11', 12', 13', 14', 15', 16'. Установка очистки воды 8 работает следующим образом. Вода, подаваемая из скважины 1 по всасывающему трубопроводу 3 через открытую задвижку 2 на насос 4, а далее по напорным трубопроводам 5 и 6 через открытую задвижку 7 поступает на вакуумно-эжекционную установку очистки 8. При этом задвижки 13, 14, 17 закрыты. Вакуумно-эжекционный окислитель 1', смонтированный на песчаном фильтре 3', состоит из конфузора 1², насадка Вентури 2² и нескольких ступеней, соединенных соосно одна в другой 3², 4², 5² и 6² (рисунок 2).

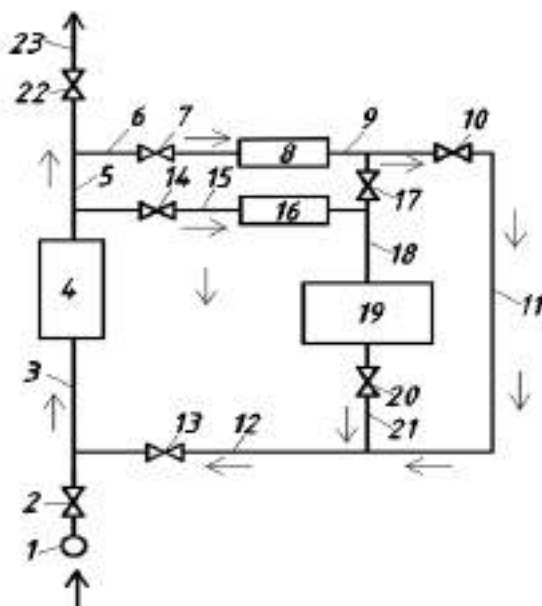


Рисунок 1 – Схема установок по очистке и активации подземной воды
Figure 1 – Diagram of underground water purification and activation plants

Результаты и выводы. Суть работы вакуумно-эжекционного окислителя 1' подробно описывается в монографии авторов [2] и заключается в том, что установка работает под давлением и в местах сужения ее элементов 1² и 2² «создаются вакуумные зоны, позволяющие объемно вскипать газам, растворенным в воде, разрушать целостность струи и превращать ее в водовоздушный поток, заполняющий всю площадь поперечного сечения вакуумной камеры 3². Выделившиеся газы в вакуумно-кольцевой зоне отсасываются самим потоком. Выделение CO₂ способствует повышению pH воды, что создает благоприятные условия для окисления железа. Полученный таким образом водовоздушный поток поступает в вакуумно-эжекционные ступени 4², 5² и 6², в которых через воздухоподводящие патрубки 7² эжектируется воздух из окружающей среды, в силу чего происходит процесс непрерывного диспергирования капель воды в потоке эжектируемого воздуха» [2]. Далее водовоздушный поток поступает на расщепитель потока, где происходит интенсивное разделение газов и воды. Газы выходят в атмосферу через дефлекторы, устроенные на трубе 2'.

Вода после вакуумно-эжекционного окислителя 1' попадает на полуавтоматический фильтр нисходящего фильтрования (рисунок 2), существенным достоинством которого является отсутствие необходимости в резервуаре и насосах для промывной воды, что делает обслуживание установки простым и не требующим высококвалифицированных специалистов [10].

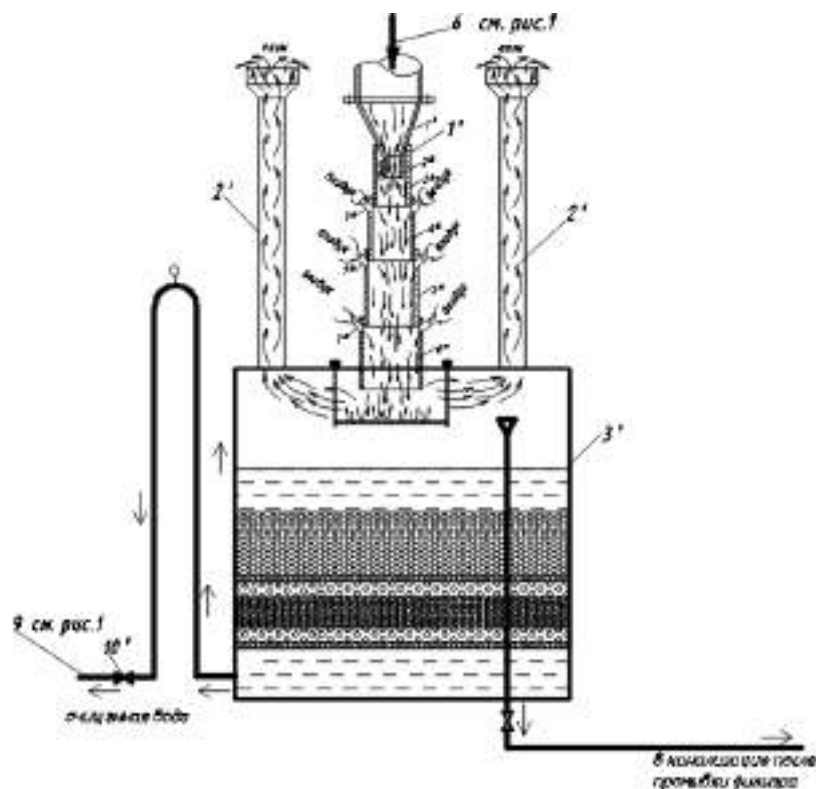


Рисунок 2 – Установка по очистке воды от взвесей, железа и др. примесей.

Figure 2 – Installation for water purification from suspensions, iron and other impurities

Фильтрующая загрузка – кварцевый песок стандартного эквивалентного диаметра. Вакуумно-эжекционный окислитель и фильтр работают как единый механизм. Суть его заключается в том, что, пройдя вакуумно-эжекционный окислитель 1', вода с окисленным железом, но уже без газов поступает на песчаный фильтр 3'. «Проходя через незатопленную фильтрующую загрузку, вода освобождается от трехвалентного железа, органических веществ и взвесей» [2, 9].

После очистки вода первоначально идет на заполнение циркуляционного бака 19, который аккумулирует объем воды для процесса активации и дальнейшего полива томатов в течение нескольких часов.

Активация очищенной воды осуществляется с помощью вакуумного активатора 16 (рисунок 1).

Вакуумный активатор 16 работает следующим образом. Вода под давлением поступает через соединительный патрубок 1''' и далее в конфузор 2''' с прикрепленным на конце патрубком Вентури в вакуумную камеру 3''' (рисунок 3). «Образующийся на выходе камеры поток газовой эмульсии подается в замкнутую коническую зону 4''' под углом к ее оси, тем самым создавая потоку вращательное и поступательное движение. Поток начинает образовывать спиральный вихрь с вертикальной осью и уменьшающимся книзу радиусом закрутки вихря. Под действием центробежной силы поток разделяется на жидкую и газовую фазы. При этом происходит глубокое выделение и отделение агрессивных газов из потока, которые направляются вверх и выходят в атмосферу через патрубок 6''', а очищенная от газов вода, изменившая свою структуру, направляется к патрубку 5''' и далее в систему капельного орошения участка» [2].

Необходимо отметить, что очистка и активация поливной воды по предложенной схеме капельного орошения даст возможность не только повысить урожайность, но и улучшить изменение химического состава плодов томатов. Исследования планируется

проводить на двух одинаковых по площади и по распределению капельниц участках с той лишь разницей, что один участок будет поливаться простой водой, второй – очищенной и активированной водой. Причем полив активированной водой будет проводиться следующим образом: в период цветения – 3 раза; образование плодов – 3 раза; молочная спелость – 2 раза; полная спелость – 1 раз. Все остальные поливы на опытном участке предусмотрены очищенной водой. В конце каждого межфазного периода будем определять максимальную площадь листьев на обоих участках [3]. Ожидаемые результаты сведены в таблице 1.

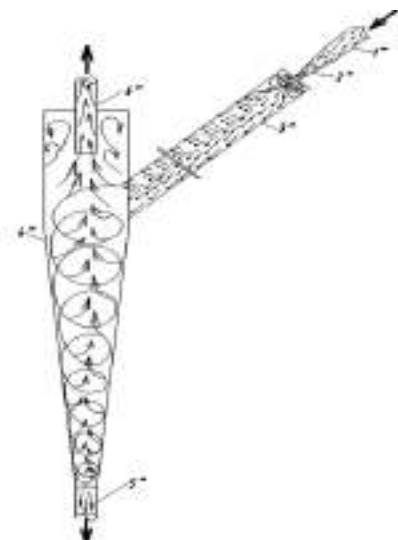


Рисунок 3 – Вакуумный активатор
Figure 3 – Vacuum activator

Таблица 1 – Динамика нарастания листовой поверхности томатов при поливе простой и активированной водой в межфазные периоды

Table 1 – The dynamics of the growth of the leaf surface of tomatoes when irrigated with plain and activated water in the interphase periods

№№ п/п	Межфазные периоды, тыс. м ² /га	Контроль (простая вода)	Опыт (активированная вода)
1.	Цветение	15,4	22,2
2.	Образование плодов	32,6	41,8
3.	Молочная спелость	29,8	42,0
4.	Полная спелость	18,0	24,5

В конце периода полной спелости необходимо провести сравнение качества плодов томатов, взятых с обоих участков по 100 кг с разных делянок. Ожидаемые результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение показателей качества плодов томатов при поливе простой и активированной водой/ Table 2 – Comparison of quality indicators of tomato fruits when irrigated with plain and activated water

№№ п/п	Химический состав томатов (на сырую массу)	Контроль (простая вода) при урожайности 55,0 т/га	Опыт (активированная вода) при урожайности 60,8 т/га
1	Органические и минеральные соединения без воды (сухое вещество), %	5,8	6,6
2	Сахароза, %	3,8	3,3
3	Витамин С, мг/100 г	15,6	16,8
4	Нитраты, мг/кг	74,8	34,6

Выводы. Ожидаемые результаты исследования, запланированные авторами, должны показать тесную связь между урожайностью и его качеством (таблица 2). При поливе простой водой урожайность томатов взята средняя по региону и составила 55,0 т/га, а при поливе очищенной и активированной водой планируется получить до 60,8 т/га. При этом качество химического состава должно быть лучше по основным показателям у томатов, поливаемых активированной водой, чем у томатов, поливаемых простой водой. Поливная вода, полученная с помощью вакуумной установки, способна бороться с нитратами, что очень важно для продовольственной сельскохозяйственной продукции.

Conclusions. The expected results of the study planned by the authors should show a close relationship between yield and its quality (Table 2). When watered with plain water, the yield of tomatoes was taken as the average for the region and amounted to 55.0 t/ha, and when watered with purified and activated water, it is planned to get up to 60.8 t/ha. At the same time, the quality of the chemical composition should be better in basic terms for tomatoes watered with activated water than for tomatoes watered with plain water. Irrigation water obtained with the help of a vacuum installation is able to fight nitrates, which is very important for agricultural food products.

Библиографический список

1. Ахмедов А. Д., Джамалетдинова Е. Э. Особенности водосберегающей технологии полива овощных культур на юге России. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 4 (36). С. 17-30.
2. Боровой Е. П., Вольская О. Н., Чураков А. А., Камышанова Л. В. Совершенствование технологий очистки и активации подземных вод для эффективного использования в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения. Волгоград: ВолгГТУ, 2020. 100 с.
3. Кавцевич В. Н., Деревинский А. В. Оценка компонентов продуктивного и биохимического состава плодов у гибридов F1, полученных на основе кистевидных форм томата. Вестник Белорусского государственного политехнического университета им. М. Танка. 2016. № 1 (47). С. 22-27.
4. Михневич Э. И., Пропольский Д. Э. Анализ методов обезжелезивания воды и условия их применения. Мелиорация. 2017. № 2 (80). С. 59-65.
5. Новикова И. В., Лунева Е. Н., Грицай А. В. Средства и технологии водоподготовки для капельного орошения сельскохозяйственных угодий. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 3 (35). С. 1-17.
6. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Бочарникова О. В., Пустовалов Е. В., Денисова М. А. Анализ эффективности работы фильтрующих загрузок при обезжелезивании воды из подземных водоисточников для систем капельного орошения. Известия НВ АУК. 2021. № 2 (62). С. 330-338.
7. Лойко А. В., Шибанов И. В., Каграманов Г. Г., Бланко-Педрехон А. М. Опыт внедрения мембранной технологии очистки артезианских вод с высоким содержанием железа и марганца. Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 4 (124). С. 58-62.
8. Fraser P. D., Truesdale M., Bird C. R. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. Plant Physiol. 2014. V. 105. Pp. 405-413.
9. Matsak A., Tsylishvili K. Using different filter media of stormwater treatment performance. Norwegian Journal of development of the International Science. 2018. V. 1 (20). Pp. 19-22.
10. Kruzhilin I. P., Ovchinnikov A. S., Kuznetsova N. V., Kozinskaya O. V., Fomin S. D., Bocharnikov V. S., Vorontsova E. S. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Open access. 2018. V. 13. Pp. 4181-4184.

References

1. Akhmedov A. D., Jamaletdinova E. E. Features of water-saving technology for watering vegetable crops in the south of Russia. Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2019. No 4 (36). Pp. 17-30.

2. Borovoy E. P., Volskaya O. N., Churakov A. A., Kamyshanova L. W. Improvement of technologies for purification and activation of groundwater for effective use in the system of household and drinking water supply. Volgograd: VolgSTU, 2020. 100 p.
3. Kavtsevich V. N., Derevenskiy A. V. Evaluation of the components of the productive and biochemical composition of fruits in F1 hybrids obtained on the basis of tomato racemes. Bulletin of the Belarusian State Polytechnic University named after M. Tank. 2016. № 1 (47). Pp. 22-27.
4. Mikhnevich E. I., Propolsky D. E. Analysis of water deferrization methods and conditions for their application. Melioration. 2017. No. 2 (80). Pp. 59-65.
5. Novikova I. V., Luneva E. N., Gritsay A. V. Means and technologies of water treatment for drip irrigation of agricultural land. Scientific journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems. 2019. No. 3 (35). Pp. 1-17.
6. Ovchinnikov A. S., Pustovalov E. V. The results of research on the use of zeolite-containing rocks as a filter material in the treatment of livestock wastewater. News of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: Science and higher professional education. 2017. No. 4 (48). Pp. 71-77.
7. Loiko A. V., Shibarov I. V., Kagramanov G. G., Blanco-Pedrekho A. M. Experience of introduction of membrane technology of purification of artesian waters with a high content of iron and manganese. Water treatment. Water treatment. Water supply. 2018. No. 4 (124). Pp. 58-62.
8. Fraser P. D., Truesdale M., Bird C. R. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. Plant Physiol. 2014. V. 105. Pp. 405-413.
9. Matsak A., Tsytlshvili K. Using different filter media of stormwater treatment performance. Norwegian Journal of development of the International Science. 2018. V. 1 (20). Pp. 19-22.
10. Kruzhilin I. P., Ovchinnikov A. S., Kuznetsova N. V., Kozinskaya O. V., Fomin S. D., Bocharnikov V. S., Vorontsova E. S. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Open access. 2018. V. 13. Pp. 4181-4184.

Информация об авторах

Боровой Евгений Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Мелиорация земель и комплексное использование водных ресурсов», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

Вольская Ольга Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, г. Волгоград, проспект Ленина, д. 28), e-mail: olgavolska@mail.ru

Григорьев Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация земель и комплексное использование водных ресурсов» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 26), e-mail: gsm.dtn@mail.ru

Чураков Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений» ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, г. Волгоград, проспект Ленина, д. 28), e-mail: alexei.churakov@yandex.ru

Камышанова Лилия Вячеславовна, старший преподаватель кафедры лингвистики и межкультурной коммуникации, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Гагарина, д. 8), e-mail: cot.milka@yandex.ru

Author's Information

Borovoy Evgeny Pavlovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department "Land Reclamation and Integrated Use of Water Resources, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

Volskaya Olga Nikolaevna, Candidate of Engineering Sciences, and Associate Professor of the Department "Construction Structures, Foundations and Reliability of Structures, Volgograd State Technical University (Russian Federation, Volgograd, Lenin Avenue, 28), e-mail: olgavolska@mail.ru

Grigoriev Sergey Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Land Reclamation and Integrated Use of Water Resources, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: gsm.dtn@mail.ru

Churakov Aleksey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Structures, Foundations and Reliability of Structures, Volgograd State Technical University (Russian Federation, Volgograd, 28 Lenin Avenue), e-mail: alexei.churakov@yandex.ru

Kamyshanova Lilia Vyacheslavovna, Senior Lecturer, Department of Linguistics and Intercultural Communication, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation (Russian Federation, Volgograd, Gagarina St., 8), e-mail: cot.milka@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-39

PROSPECTS FOR ROBOTIZATION OF THE PROCEDURE MICROCLONAL PROPAGATION OF PLANTS

N. S. Vorobeve¹, A. Kh. Gafiatullin², N. G. Sharonov^{2,3}, A. V. Maloletov^{2,3}

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Innopolis University
Innopolis, Tatarstan, Russian Federation

³Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: a.maloletov@innopolis.ru

Received 17.10.2023

Submitted 23.11.2023

The study was funded by the Russian Science Foundation (grant No. 22-29-01589, <https://rscf.ru/en/project/22-29-01589/>)

Summary

The paper presents the results of analysis of tasks arising in microclonal propagation of plants in vitro and proposes means of robotization of the laboratory. A robotic cell was developed to perform the procedure of microcropping and planting of cuttings in nutrient medium.

Abstract

Introduction. The procedure of microclonal propagation by in vitro microcutting requires a large amount of routine labor. An experienced laboratory technician can plant up to 700 microcuttings per shift. However, this work is very monotonous and, as a consequence, extremely tiring. In addition, fatigue makes people less attentive and they start making mistakes, which often lead to rejects – sterility violations and introduction of infections into the nutrient medium. As far back as 30 years ago, robotization of this procedure was sought. A number of known attempts at robotization have demonstrated the potential solvability of this problem, but have not led to the introduction of robotization tools in this industry, and until now these operations are still performed manually. **Object.** Robotic complex for maintenance of the laboratory on microclonal propagation of plants. **Materials and methods.** The research includes analyzing the requirements for robotization of a laboratory for microclonal plant propagation and developing a concept for robotization of such a laboratory. **Results and conclusions.** As a result of the analysis, the needs for robotic equipment in the laboratory of microclonal plant propagation were determined and the main provisions for robotization of the laboratory were formulated.

Key words: microclonal plant reproduction, in vitro, micropropagation, robotization, industrial robotic manipulators, delta robot.

Citation. Vorob'eva N. S., Gafiatullin A. Kh., Sharonov N. G., Maloletov A. V. Prospects of robotization of the procedure of microclonal propagation of plants. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 388-397 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-39.

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 633.11

**ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО
РАЗМНОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ****Н. С. Воробьева**¹, доктор технических наук, доцент**А. Х. Гафиятуллин**², старший инженер-исследователь**Н. Г. Шаронов**^{2,3}, кандидат технических наук, доцент**А. В. Малолетов**^{2,3}, доктор физико-математических наук, профессор¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²АНО ВО «Университет Иннополис»

г. Иннополис, Татарстан, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет

г. Волгоград, Российская Федерация

**Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда
(проект № 22-29-01589, <https://rscf.ru/project/22-29-01589/>)**

Актуальность. Процедура микрклонального размножения методом микрочеренкования *in vitro* требует большого объема рутинного труда. Опытный лаборант может осуществить высадку до 700 микрочеренков за смену. Однако эта работа является очень однообразной и, как следствие, исключительно утомительной. Кроме того, от усталости снижается внимательность, люди начинают допускать ошибки, которые часто приводят к браку – нарушению стерильности и занесению инфекций в питательную среду. Ещё 30 лет назад ставились задачи роботизации этой процедуры. Ряд известных попыток роботизации продемонстрировал потенциальную решаемость этой задачи, но не привел к внедрению средств роботизации в эту отрасль, и до сих пор эти операции выполняются вручную. **Объект.** Роботизированный комплекс для обслуживания лаборатории по микрклональному размножению растений. **Материалы и методы.** Исследования включают в себя анализ требований к роботизации лаборатории по микрклональному размножению растений и разработку концепта роботизации такой лаборатории. **Результаты и выводы.** В результате проведенного анализа были выявлены требования к робототехническому оборудованию лаборатории микрклонального размножения растений и разработаны основные положения роботизации лаборатории.

Ключевые слова: микрклональное размножение растений, *in vitro*, микрочеренкование, промышленные роботы-манипуляторы, дельта-робот.

Цитирование. Воробьева Н. С., Гафиятуллин А. Х., Шаронов Н. Г., Малолетов А. В. Перспективы роботизации процедуры микрклонального размножения растений. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 388-397. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-39.

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. Микрклональное размножение является одним из наиболее перспективных и быстро развивающихся направлений в биотехнологии растений [1, 2, 3, 4]. Оно представляет собой процесс размножения растений *in vitro*, при котором из одного исходного растения можно получить большое количество генетически идентичных копий. Этот метод имеет огромное значение для сохранения чистоты культурной линии растений, а также для быстрого размножения ценных сортов и гибридов.

Актуальность темы обусловлена необходимостью изучения и совершенствования методов микрклонального размножения для решения широкого спектра задач в области растениеводства, селекции и защиты растений. В частности, развитие данной

технологии позволяет существенно сократить время на создание новых сортов, обеспечить высокий уровень защиты от болезней и вредителей, а также увеличить урожайность и качество продукции.

Наиболее популярный метод микроклонального размножения растений базируется на процедуре микрочеренкования и выращивания черенков в питательной среде. После получения тканей растений их помещают в специальную питательную среду, которая содержит все необходимые элементы для их роста и размножения. Эта среда состоит из воды, минеральных солей, витаминов, аминокислот и других биологически активных веществ. Как правило, питательная среда формируется на основе гелеобразователя, в качестве которого обычно применяется агар. Ткани растений помещаются в эту среду и выращиваются в специальных условиях, которые обеспечивают их быстрый рост и размножение. Сосудами для выращивания черенков служат лабораторные колбы разных форм и размеров.

Одним из важных аспектов микроклонального размножения является контроль условий выращивания тканей *in vitro* [5, 6]. Температура, влажность, освещение и другие факторы должны быть оптимальными для роста и размножения тканей. Также важно контролировать состав питательной среды и ее pH, чтобы обеспечить оптимальные условия для роста растений.

После того как растение подросло в питательной среде, его можно пересаживать в почву или использовать для получения новых растений. Этот процесс называется микроразмножением и позволяет получать большое количество идентичных растений из одного исходного образца.

Опытный лаборант может осуществить высадку до 700 микрочеренков за смену. Однако эта работа является очень однообразной и, как следствие, исключительно утомительной. Кроме того, от усталости снижается внимательность, люди начинают допускать ошибки, которые часто приводят к браку – нарушению стерильности и занесению инфекций в питательную среду.

Роботизация этого процесса может освободить людей от утомительной однообразной работы, а также увеличить производительность лабораторий, производящих посадочный материал.

В работе [7] ещё в начале 90-х годов прошлого века было сформулировано предположение, что для коммерциализации микроразмноженных саженцев во всем мире необходимо снизить себестоимость продукции на 90%, и сформулирован вывод, что только роботизация может привести к такому резкому снижению затрат.

Примерно в тот же период предпринимались первые попытки разработки роботизированных систем для микроклонального размножения [8], однако до настоящего времени задача остаётся нерешенной.

Целями настоящей работы являются анализ проблем, возникающих при роботизации поставленной задачи, и разработка принципов и концепций, ведущих к их устранению.

Материалы и методы. Микроклональное размножение растений – это метод размножения растений, при котором новое растение образуется из небольшой части родительского растения. Этот процесс включает в себя несколько этапов:

1) Выбор исходного растительного материала. Исходным материалом могут быть как целые растения, так и отдельные части растений, такие как стебли, листья или корни.

2) Стерилизация растительного материала. Это необходимо для того, чтобы уничтожить все бактерии и грибы, которые могут находиться на поверхности материала. Стерилизацию проводят химическим способом с помощью специальных растворов или газов.

3) Выращивание культур *in vitro*. На этом этапе растительный материал делится на малые части, которые, как правило, содержат только одну почку. Полученные части растений помещают в специальные питательные среды, где они начинают расти. Выращивание осуществляют в пробирках или колбах, вход в которые обычно затыкают ватной пробкой, обеспечивающей прохождение воздуха, но задерживающей микроорганизмы.

4) При необходимости этап выращивания неоднократно повторяется с использованием подросших растений в качестве исходного материала.

5) Адаптация растений к нестерильным условиям. После того как растения вырастают до определенного размера, их переносят в нестерильные условия, где они продолжают расти и развиваться. Обычно на этом этапе осуществляется высадка растений в почву в условиях лаборатории или теплицы с контролируемым микроклиматом.

6) Высадка растений. Подросшие растения высаживают в условия их дальнейшего произрастания и плодоношения: в теплицах или в открытом грунте.

Автоматизация или роботизация даже отдельных этапов или процедур может обеспечить значительный экономический эффект.

Очевидно, что выбор исходного растительного материала не может быть автоматизирован. Автоматизация процедуры стерилизации потенциально возможна, но вряд ли может быть эффективной. Стерилизации подвергается сразу большой объем биоматериала, и это не требует больших трудозатрат. Поэтому более целесообразным будет выполнять эту процедуру вручную. Кроме того, на этапе стерилизации обычно дополнительно контролируется качество исходного материала и отбраковываются образцы, имеющие небольшие дефекты и прошедшие этап выбора исходного материала.

Наиболее перспективным направлением для роботизации представляются процедуры выращивания растений *in vitro* и пересадки растений в почву в лабораторных условиях. Таким образом, роботы могут выполнять следующие операции:

- микрочеренкование – разрезание исходного черенка на части;
- помещение микрочеренков в пробирку или колбу с питательным раствором;
- закрытие входа в пробирку ватной пробкой;
- открытие пробирки - извлечение пробки;
- извлечение подросшего черенка из пробирки или колбы.

Высадка растений в условиях теплицы или в открытом грунте, в свою очередь, может быть роботизирована, и известно достаточно много разработок в этой области [9, 10].

В Центре компетенций НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» в Университете Иннополис при участии членов Консорциума Центра накоплен значительный опыт по разработке средств роботизации лабораторного оборудования, в том числе с применением систем технического зрения и манипулирования гибкими, податливыми и деликатными объектами [11]. Например, на рисунках 1 и 2 показаны разработки гибридных роботов для химических лабораторий. В данном случае гибридные роботы представляют собой мобильную платформу, на которой установлен промышленный или коллаборативный робот-манипулятор.

Мобильная платформа робота, показанного на рисунке 1, позволяет перемещать манипулятор в пределах лаборатории от одного рабочего места к другому, выполняя в автоматическом режиме различные работы по смешиванию и добавлению реагентов. Манипулятор снабжён универсальным захватом, позволяющим надёжно фиксировать пробирки, колбы и другие предметы стеклянной посуды или инструментов. Система технического зрения на базе стационарных камер применяется для контроля над положением предметов лабораторной посуды и инструментов и для первичного анализа результатов реакции, например, по изменению цвета реагентов.



Рисунок 1 – Гибридный робот, разработанный для обслуживания нескольких рабочих мест в лаборатории

Figure 1 – Hybrid robot designed to serve multiple workstations in a laboratory

Робот, показанный на рисунке 2, также предназначен для работы на различных рабочих местах в лаборатории и отличается тем, что на мобильной платформе предусмотрено размещение контейнера с лабораторной посудой, что позволяет роботу перемещать в пределах лаборатории исследуемые образцы. В этом роботе используется манипулятор коллаборативного типа, что допускает нахождение людей в рабочей зоне робота и их совместную работу. Одним из основных недостатков применения робота такого типа является относительно невысокая скорость его работы, что приемлемо при работе с десятками образцов, но нецелесообразно, если количество образцов измеряется сотнями. Помимо стационарных камер используется также камера, установленная на манипуляторе непосредственно перед эндеффектором, необходимость которой связана с потребностью выполнять манипуляции с размещёнными на платформе образцами независимо от позиции робота относительно стационарных рабочих мест.

Для захвата стеклянной посуды и других деликатных объектов используются захваты с упруго-деформируемыми пальцами. Однако такие захваты обладают существенными ограничениями на размеры объектов, которые они способны захватить и зависимостью усилий для удержания объекта от его размеров. Надёжное удержание удаётся обеспечивать фактически только в узком диапазоне размеров объектов, соответствующем размерам конкретного захвата.

1. Более универсальным решением является использование адаптивных захватов [12]. Схема одного из возможных вариантов адаптивного захвата, разработанная консорциумом Центра, показана на рисунке 3. В основе предлагаемой конструкции адаптивного захвата лежит мехатронный узел с телами качения и упругими связями. Получаемая гибкость конструкции даёт возможность подобному рабочему элементу подстраиваться под размер и форму объектов. Захват способен менять площадь соприкосновения и усилие удержания объектов в соответствии с требованиями технологического процесса и условиями безопасности, в том числе в кооперации с человеком. Важнейшей технологической характеристикой является способность схватывать хрупкие и легко деформируемые объекты сложной конфигурации. Пальцы захватного устройства приводятся в действие сервоприводом. Изгибающее усилие передается через систему тросов на шарниры двойного действия [13] (см. также патент на полезную модель № 212867 U1 РФ Реконфигурируемый

узел / А. В. Ивченко, М. Ю. Ветлицын, Н. Г. Шаронов). При повороте сервопривода на заданный угол изменяется соотношение длин верхней и нижней части узла, что влияет на расположение шарниров относительно оси рабочего элемента. Перемещение и поворот шарниров приводит к сгибанию пальцев захвата.



Рисунок 2 – Гибридный робот на базе коллаборативного манипулятора, разработанный для перемещения образцов в пределах лаборатории

Figure 2 – Hybrid robot based on a collaborative manipulator designed to move samples within a laboratory

Роботизация лаборатории микрোকлонального размножения растений возможна на базе промышленных или коллаборативных роботов-манипуляторов последовательной структуры. Однако проведенный анализ потребностей такой лаборатории показал некоторое несоответствие возможностей таких роботов потребностям лаборатории. Роботы-манипуляторы имеют высокую точность – порядка 0,05-0,1 мм и обладают относительно высокой грузоподъемностью – от нескольких килограммов, что излишне для манипуляций с частями растений. С другой стороны, такого типа роботы имеют относительно высокую собственную массу и, как следствие, либо невысокую скорость движения, либо большое энергопотребление.

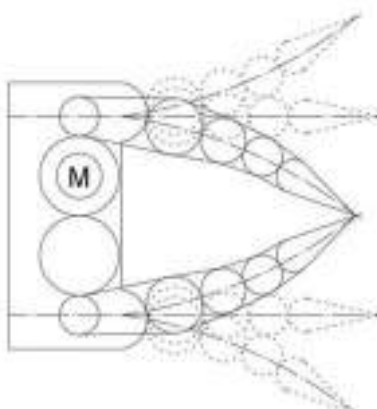


Рисунок 3 – Схема адаптивного захвата на базе шарниров двойного действия

Figure 3 – Schematic diagram of the adaptive gripper based on double-acting joints

В исследовании рассматривалась также возможность применения для задачи микроклонирования аналогов медицинских роботов-хирургов. Такие роботы обладают большим количеством специализированных манипуляторов с инструментами (рисунок 4), предназначенными для точного манипулирования биологическими тканями. Преимуществами такого типа роботов являются то, что они изначально создаются для работы в стерильных условиях и их инструменты идеально подходят для разнообразных типов работы с биологическими материалами. Медицинские роботы-хирурги имеют до 10 и более манипуляторов с различными хирургическими инструментами. Для задачи микроклонирования такое количество является избыточным. Анализ процедуры микрочеренкования показывает, что роботу подобного требуется три инструмента: захват для перемещения и фиксации черенков, захват для перемещения микрочеренков в пробирку, скальпель. Потенциально возможна разработка упрощённого варианта подобного робота с тремя указанными манипуляторами. Схема работы такого робота была максимально приближена к тому, как эту процедуру выполняет человек. Однако такой подход потребовал бы разработки дополнительного приспособления для фиксации пробирок под углом, удобном для манипуляторов робота-хирурга, поскольку они обладают значительными ограничениями по углам ориентации. Но основные недостатки такого типа роботов для использования в лаборатории микроклонального размножения – это невысокое быстродействие при очень высокой стоимости.

Среди всех известных типов роботов-манипуляторов наиболее целесообразным представляется применение параллельных дельта-роботов. Такого типа роботы обладают небольшой массой собственных звеньев и при небольшой массе перемещаемых объектов могут обеспечить очень высокую скорость движения при высокой точности позиционирования и относительно небольшом энергопотреблении.

Результаты и обсуждение. В результате проведённого исследования была разработана концепция роботизированной ячейки на базе параллельных дельта-роботов (рисунок 4). Ячейка представляет собой бокс, в котором поддерживается избыточное давление воздуха, что исключает попадание микроорганизмов из воздуха в помещении.

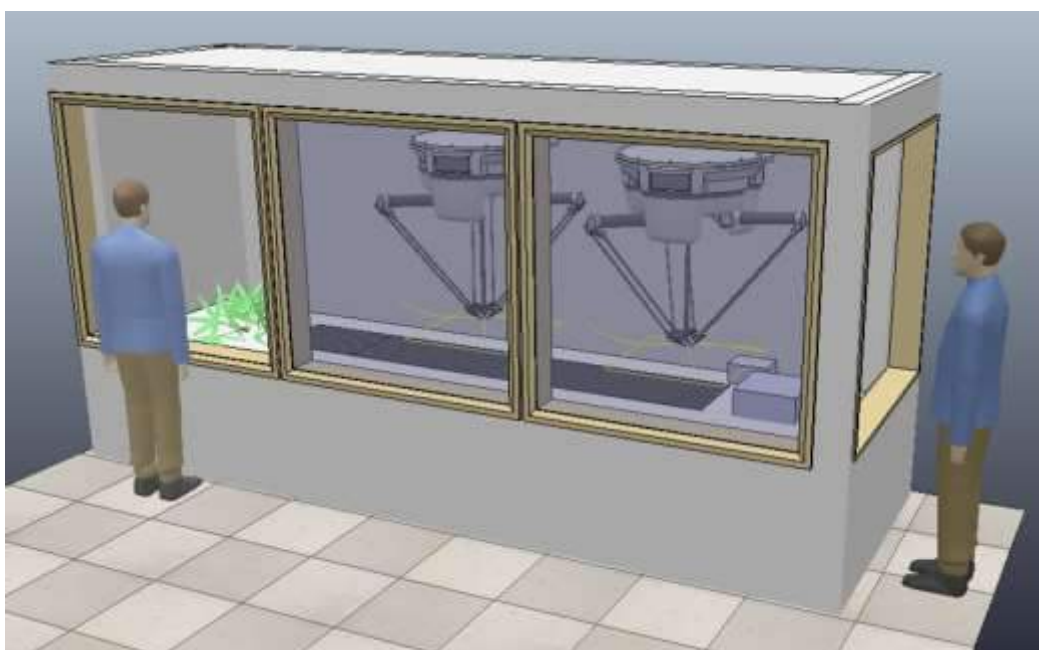


Рисунок 4 – Схема роботизированной ячейки для лаборатории микроклонального размножения растений

Figure 4 – Schematic diagram of the robotic cell for the laboratory of microclonal plant propagation

С левой стороны установки предусмотрено рабочее пространство для лаборанта, в котором он осуществляет подготовительную операцию – химическую стерилизацию исходного материала. Обработанные черенки лаборант выкладывает на ленту конвейера, который доставляет материал в рабочую зону первого робота.

В рабочей зоне первого робота система технического зрения на базе установленной на потолке боса камеры выполняет съёмку и анализ расположения черенков на ленте, а также анализ расположения почек на черенке. Первый робот снабжён инструментом для разрезания с фиксаторами черенка во избежание его смещения во время резания. Таким образом, осуществляется нарезка отдельно лежащих на ленте черенков. В случае если некоторые черенки лежат перекрывая друг друга, предусматривается процедура сдвига черенков относительно друг друга, которая реализуется боковыми сторонами того же инструмента.

Нарезанные микрочеренки по ленте конвейера поступают в рабочую зону второго робота, где также устанавливается камера системы технического зрения. Второй робот захватывает микрочеренок и помещает его в пробирку или колбу с питательным раствором. Следующей операцией второй робот захватывает ватную пробку и помещает её во вход пробирки или колбы.

Контейнеры со стерильными ватными пробками и пробирками с питательным раствором подаёт лаборант через окно в правой части установки. Он же извлекает пустой контейнер для ватных пробок и контейнер с пробирками с высаженным материалом для помещения последнего в фитотрон.

Система технического зрения определяет факт наличия исходного материала, контейнеров с пробирками и пробками, автоматически выключая роботов в случае отсутствия необходимых условий для работы.

В случае, когда в качестве исходного материала используются подросшие растения, установка переключается в реверсный режим работы. Левое окно закрывается, а через правое окно подаётся контейнер с подросшими растениями. Второй робот извлекает ватную пробку, затем извлекает растение и укладывает его на ленту конвейера. После укладки всех растений конвейер включается в обратную сторону и перемещает материал в рабочую зону первого робота. Дальнейшая обработка происходит в соответствии с вышеописанным алгоритмом: первый робот нарезает микрочеренки, конвейер перемещает их в зону работы второго робота, второй робот высаживает их в новые пробирки.

Оценка скорости работы дельта-роботов с учётом опыта по установке подобных систем позволяет прогнозировать реальную производительность такой установки до 600 высаженных клонов в час, что почти в 7 раз больше, чем результат работы человека-лаборанта. При этом сотрудник выполняет менее однообразную работу, которая требует существенно меньшей концентрации внимания, а также существенно уменьшается влияние человеческого фактора на качество посадки.

Для бесперебойной работы роботизированной ячейки с максимальной расчётной производительностью необходимо задействовать двух лаборантов. В таком режиме работы лаборанты занимаются непосредственно работой с ячейкой порядка 60 % своего рабочего времени и могут параллельно контролировать работу другого оборудования в лаборатории. При обслуживании ячейки только одним лаборантом вероятно снижение общей производительности на 10-15 % от расчётных значений из-за повышенной нагрузки на лаборанта.

Заключение. Полная замена человека-лаборанта в лаборатории микроклонального размножения растений невозможна. Только человек может обеспечить выбор исходного материала необходимого качества, только человек может проконтролировать процесс размножения на всех этапах и, наконец, только человеку под силу ставить и решать организационные задачи. Однако облегчить труд, переложив рутинные операции на роботов, можно и нужно.

В работе представлены результаты анализа задач, возникающих при микроклональном размножении растений *in vitro*, и предложены средства роботизации лаборатории. Разработан проект роботизированной ячейки для выполнения процедуры микрочеренкования и высадки черенков в питательную среду. Выполнен анализ и произведены расчёты скорости работы роботов, показавшие, что производительность лаборатории микроклонального размножения растений в случае внедрения средств роботизации может возрасти в 7 раз. При этом на конечный экономический и социальный эффект существенное положительное влияние окажет снижение нагрузки на людей, работающих с роботизированной лабораторией.

Conclusions. It is impossible to completely replace a human lab technician in the laboratory of microclonal plant propagation. Only a human can ensure the selection of source material of the required quality, only a human can control the propagation process at all stages and, finally, only a human can set and solve organizational tasks. However, it is possible and necessary to facilitate labor by transferring routine operations to robots.

The paper presents the results of analysis of tasks arising in microclonal propagation of plants *in vitro* and suggests means of robotization of the laboratory. A robotic cell was developed to perform the procedure of micro-fertilization and planting of cuttings in nutrient medium. The analysis and calculations of the robots' work speed were made, which showed that the productivity of the laboratory of microclonal plant propagation in case of implementation of robotization means can increase 7 times. At the same time, the final economic and social effect will be significantly influenced by the reduction of the load on people working with the robotized laboratory.

Библиографический список

1. Демидчик В. В., Черныш М. А., Дитченко Т. И. и др. Микроклональное размножение растений. Наука и инновации. 2019. № 6 (196). С. 4-11.
2. Borovaya S. A., Boginskaya N. G. Regenerative ability and micropropagation of *Petunia hybrida* *in vitro*. Vegetable Crops of Russia. 2022. No. 6. Pp. 24-28.
3. Каримова В. К., Магзумова Г. К., Есимсеитова А. К., Какимжанова А. А. Микроклональное размножение *Spiraea Japonica* для озеленения. Eurasian Journal of Applied Biotechnology. 2021. № 3. С. 34-42.
4. Gafitskaya I. V. et al. Microclonal propagation of *dasiphora fruticosa* (Rosaceae). Botanica Pacifica. 2020. V. 9. №. 1. Pp. 85-90.
5. Admas A. et al. Develop Micro clonal-propagation protocol for *Oxytenanthera abyssinica* A. Rich. Munro to large scale micro-propagation. BioRxiv. 2020. P. 2020.04. 28.063883.
6. Kakimzhanova A. A. et al. Optimization of microclonal propagation conditions for increasing the multiplication factor of poplar microshoots. 2019.
7. Kozai T. Photoautotrophic micropropagation. In Vitro Cell Dev Biol Plant. 1991. No 27. Pp. 47-51.
8. Brown F. R. Robotics and Image Analysis Applied to Micropropagation. Transplant Production Systems. Springer, Dordrecht. 1992. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2785-1_15
9. Khadatkhar A., Pandirwar A. P., Paradkar V. Design, development and application of a compact robotic transplanter with automatic seedling picking mechanism for plug-type seedlings. Scientific Reports. 2023. V. 13. №. 1. P. 1883.
10. Wang B. et al. G-ROBOT: An intelligent greenhouse seedling height inspection robot. Journal of Robotics. 2022. V. 2022.
11. Almaghout K., Klimchik A. S. Vision-Based Robotic Comanipulation for Deforming Cables. Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2022. Vol. 18. No. 5. Pp. 843-858.
12. Макарова Е. А., Ветлицын М. Ю., Шаронов Н. Г. Адаптивные захваты робототехнических систем. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2023. № 4 (275). С. 57-63.
13. Ivchenko A. V., Sharonov N., Ziatdinov R. New conceptual design of the adaptive compliant aircraft wing frame. / A. V. Ivchenko, // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2019. Vol. 22. No 5. Pp. 1149-1154.

References

1. Demidchik V. V., Chernysh M. A., Dietchenko T. I., etc. Microclonal plant reproduction. Science and innovation. 2019. № 6 (196). Pp. 4-11.

2. Borovaya S. A., Boginskaya N. G. Regenerative ability and micropropagation of *Petunia hybrida* in vitro. *Vegetable Crops of Russia*. 2022. No. 6. Pp. 24-28.
3. Karimova V. K., Magzumova G. K., Yesimseitova A. K., Kakimzhanova A. A. *Spiraea Japonica* microclonal reproduction for landscaping. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*. 2021. № 3. Pp. 34-42.
4. Gafitskaya I. V. et al. Microclonal propagation of *dasiphora fruticosa* (Rosaceae). *Botanica Pacifica*. 2020. V. 9. №. 1. Pp. 85-90.
5. Admas A. et al. Develop Micro clonal-propagation protocol for *Oxytenanthera abyssinica* A. Rich. Munro to large scale micro-propagation. *BioRxiv*. 2020. P. 2020.04. 28.063883.
6. Kakimzhanova A. A. et al. Optimization of microclonal propagation conditions for increasing the multiplication factor of poplar microshoots. 2019.
7. Kozai T. Photoautotrophic micropropagation. *In Vitro Cell Dev Biol Plant*. 1991. No 27. Pp. 47-51.
8. Brown F. R. Robotics and Image Analysis Applied to Micropropagation. *Transplant Production Systems*. Springer, Dordrecht. 1992. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2785-1_15
9. Khadatkar A., Pandirwar A. P., Paradkar V. Design, development and application of a compact robotic transplanter with automatic seedling picking mechanism for plug-type seedlings. *Scientific Reports*. 2023. V. 13. №. 1. P. 1883.
10. Wang B. et al. G-ROBOT: An intelligent greenhouse seedling height inspection robot. *Journal of Robotics*. 2022. V. 2022.
11. Almaghout K., Klimchik A. S. Vision-Based Robotic Comanipulation for Deforming Cables. *Russian Journal of Nonlinear Dynamics*. 2022. Vol. 18. No. 5. Pp. 843-858.
12. Makarova E. A., Vetlitsyn M. Yu., Sharonov N. G. Adaptive grips of robotic systems. *News of Volgograd State Technical University*. 2023. № 4 (275). Pp. 57-63.
13. Ivchenko A. V., Sharonov N., Ziatdinov R. New conceptual design of the adaptive compliant aircraft wing frame. / A. V. Ivchenko, // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2019. Vol. 22. No 5. Pp. 1149-1154.

Информация об авторах

Воробьева Наталья Сергеевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Механика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Гафиятуллин Айрат Халимович, старший инженер-исследователь Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники, АНО ВО «Университет Иннополис» (Российская Федерация, 420500, Татарстан, г. Иннополис, Университетская ул., д. 1), e-mail: a.gafiatullin@innopolis.ru

Шаронов Николай Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Динамика и прочность машин», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. Ленина, д. 28), e-mail: pochta0012@mail.ru

Малолетов Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, доцент, научный руководитель Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники, профессор, АНО ВО «Университет Иннополис» (Российская Федерация, 420500, Татарстан, г. Иннополис, Университетская ул., д. 1), e-mail: a.maloletov@innopolis.ru

Author's Information

Vorobyova Natalya Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiiy, d. 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Gafiyatullin Airat Khalimovich, Senior Research Engineer, Center for Robotics and Mechatronics Component Technologies, Innopolis University (Russian Federation, 420500, Tatarstan, Innopolis, Universitetskaya str., 1), e-mail: a.gafiatullin@innopolis.ru

Sharonov Nikolai Gennadievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Dynamics and Strength of Machines, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, pr. Lenina, 28), e-mail: pochta0012@mail.ru

Maloletov Aleksander Vasilievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Scientific Director of the Center for Technologies of Robotics and Mechatronics Components, Professor, Innopolis University (Russian Federation, 420500, Tatarstan, Innopolis, Universitetskaya St., 1), e-mail: a.maloletov@innopolis.ru

REDUCTION OF TRACTION RESISTANCE OF CHISEL GUNS

D. S. Gapich, Yu. A. Shvabauer, S. I. Subbotin, D. S. Gubaidulin

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author or E-mail: Gds-08@mail.ru

Received 02.10.2023

Submitted 09.11.2023

Summary

The article presents the results of modeling and experimental studies of the working bodies of chisel tools with improved geometric characteristics. The results of experimental studies have shown that the use of working bodies with improved geometric characteristics of the working surface can reduce the total traction resistance of the tractor by 6-9%. It is noted that the effectiveness of the use of experimental working bodies decreases with an increase in the speed of movement of the unit.

Abstract

Introduction. Innovative crop production technologies, which are the main source of human food, have a significant energy intensity, which has an increasing tendency. These technologies account for up to 85% of all energy costs of agricultural production, half of which falls on tillage operations. The scale of fuel consumption for tillage operations is such that a 1% reduction in energy costs saves up to 1.5 million tons of fuels and lubricants. Therefore, the issue of finding ways to reduce energy costs during tillage operations remains relevant today. Currently, various methods have been proposed to reduce the resistance of working bodies of tillage implements: the use of working bodies with improved geometric characteristics of working surfaces; the use of vibrational and vibrational modes of operation of working sections; the use of antifriction coatings on working surfaces; optimization of operational parameters of the entire machine and tractor unit. The basis of all these measures applied in practice are the foundations for the study of the physic-mechanical and dynamic characteristics and conditions of the processed material; the nature of the mechanical impact on the soil layer by various types of deformers; mathematical models describing the state of the operational parameters of machine-tractor units with different nature of their loading. **Object.** The object of the study is the technological process of chisel tillage, technological operations of destruction and displacement of the soil layer, the stress-strain state of the formation under the action of chisel working bodies with different geometric characteristics of the working surface. **Materials and methods.** Theoretical research methods are based on the analysis and modeling of the physical features of the destruction and movement of the soil layer on the surface of the working body. Experimental studies were carried out on real objects of tillage implements equipped with working bodies with different geometric characteristics of the working surface using standard techniques. **Results and conclusions.** Based on modeling the process of moving a soil particle over the surface of the working body, a parabolic equation is obtained that can be used to justify the surface of the working body, which provides variable deformation of the soil layer during its movement. A 3D model and a full-scale sample of an experimental working organ of a chisel plow with improved geometric characteristics of the working surface have been created. Analysis of the results of field studies of the energy intensity of the technological process of chiseling the soil, that the use of working bodies with improved geometric characteristics of the working surface can reduce the total traction resistance of the tractor by 6-9%. It is noted that the effectiveness of the use of experimental working bodies decreases with an increase in the speed of movement of the unit.

Key words: *chisel plow, traction resistance of the chisel plow working section, chisel plow working body, tractor hook load.*

Citation. Gapich D. S., Shvabauer Yu. A., Subbotin S. I., Gubaidulin D. S. Reduction of traction resistance of chisel guns. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 398-409 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-40.

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 the final version presented and approved it.

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

УДК 631.316.22

СНИЖЕНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ*Д. С. Гапич, доктор технических наук, профессор**Ю. А. Швабауэр, аспирант**С. И. Субботин, аспирант**Д. С. Губайдулин, аспирант**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ**г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Инновационные технологии растениеводства, являющиеся основным источником продуктов питания человека, обладают значительной энергоёмкостью, имеющей возрастающую тенденцию. На данные технологии приходится до 85% всех энергетических затрат сельскохозяйственного производства, половина из которых приходится на почвообрабатывающие операции. Масштабы расхода топлива на почвообрабатывающие операции в РФ таковы, что снижение энергетических затрат на 1% позволяет экономить до 1,5 млн. тонн горюче-смазочных материалов. Поэтому актуальным сегодня остается вопрос поиска способов снижения энергетических затрат при проведении почвообрабатывающих операций. В настоящее время предложены различные способы уменьшения сопротивления рабочих органов почвообрабатывающих орудий: применение рабочих органов с улучшенными геометрическими характеристиками рабочих поверхностей; использование колебательных и вибрационных режимов работы рабочих секций; применение на рабочих поверхностях антифрикционных покрытий; оптимизация эксплуатационных параметров всего машинно-тракторного агрегата. В основу всех этих применяемых на практике мероприятий закладываются основы по изучению физико-механических и динамических характеристик обрабатываемого материала; характера механического воздействия на почвенный пласт различными видами деформаторов; математические модели, описывающие состояние эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов при различном характере их нагружения. **Объект.** Объектом исследования является технологический процесс чизельной обработки почвы, технологические операции разрушения и перемещения почвенного пласта, напряженно-деформированное состояние пласта под действием чизельных рабочих органов с различными геометрическими характеристиками рабочей поверхности. **Материалы и методы.** Теоретические методы исследования базируются на анализе и моделировании физических особенностей разрушения и перемещения почвенного пласта по поверхности рабочего органа. Экспериментальные исследования проводились на реальных объектах почвообрабатывающих орудий, оснащенных рабочими органами с различными геометрическими характеристиками рабочей поверхности, с применением стандартных методик. **Результаты и выводы.** На основании моделирования процесса перемещения почвенной частицы по поверхности рабочего органа получено параболическое уравнение, которое может быть использовано при обосновании поверхности рабочего органа, обеспечивающей переменную деформацию почвенного пласта при его перемещении. Создана 3Д модель и натурный образец экспериментального рабочего органа чизельного плуга с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности. Анализ результатов полевых исследований энергоёмкости технологического процесса чизелевания почвы показал, что использование рабочих органов с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности позволяет снизить общее тяговое сопротивление трактора на 6-9%. Отмечено, что эффективность применения экспериментальных рабочих органов снижается при увеличении скорости движения агрегата.

Ключевые слова: чизельный плуг, тяговое сопротивление рабочей секции чизельного плуга, рабочий орган чизельного плуга, крюковая нагрузка трактора.

Цитирование. Гапич Д. С., Швабауэр Ю. А., Субботин С. И., Губайдулин Д. С. Снижение тягового сопротивления чизельных орудий. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 398-409. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-40.

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. Инновационные технологии растениеводства, являющиеся основным источником продуктов питания человека, обладают значительной энергоёмкостью, имеющей возрастающую тенденцию. На данные технологии приходится до 85% всех энергетических затрат сельскохозяйственного производства, половина из которых приходится на почвообрабатывающие операции [1, 2]. Поэтому актуальным сегодня остается вопрос поиска способов снижения энергетических затрат при проведении почвообрабатывающих операций.

Основоположник земледельческой механики Горячкин В. П. указывал, что уменьшение энергоемкости процесса почвообработки необходимо добиваться за счет снижения тягового сопротивления рабочих органов. В настоящее время предложены различные способы уменьшения сопротивления рабочих органов почвообрабатывающих орудий: применение рабочих органов с улучшенными геометрическими характеристиками рабочих поверхностей; использование колебательных и вибрационных режимов работы рабочих секций; применение на рабочих поверхностях антифрикционных покрытий; оптимизация эксплуатационных параметров всего машинно-тракторного агрегата [3]. В основу всех этих применяемых на практике мероприятий закладываются основы по изучению физико-механических и динамических характеристик обрабатываемого материала; характера механического воздействия на почвенный пласт различными видами деформаторов; математические модели, описывающие состояние эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов при различном характере их нагружения.

Не останавливаясь на сравнительной оценке эффективности предлагаемых способов, отметим в качестве достоинства первых двух их всеобъемлющий характер: конструкторское совершенствование рабочих органов и рабочих секций почвообрабатывающих машин можно проводить параллельно с другими мероприятиями по уменьшению энергетических затрат. Рассмотрим более подробно теоретические основы предлагаемого способа применения деформации растяжения и изгиба почвенного пласта при движении по рабочему органу.

Материалы и методы. Теоретические методы исследования базируются на анализе и моделировании физических особенностях разрушения и перемещения почвенного пласта по поверхности рабочего органа. Экспериментальные исследования проводились на реальных объектах почвообрабатывающих орудий, оснащенных рабочими органами с различными геометрическими характеристиками рабочей поверхности, с применением стандартных методик.

Результаты и обсуждение. В конструкции рабочей секции чизельного плуга следует выделить два базовых элемента, являющихся общими для любых моделей. Это стойка и рабочий орган в виде сменного долота. Задача стойки заключается в обеспечении жесткой рабочей поверхности с рамой плуга. Сменное долото, по своей сути, в зависимости от конфигурации представляет собой модификацию двухгранного плоского клина, под действием которого почва подвергается деформациям сжатия, рисунок 1. Под действием клина в почвенном пласте возникает сложное напряженное состояние. Принято считать, что разрушение почвенного пласта основано на теории Кулона-Мора [4, 5].

Деформация сжатия по энергоемкости процесса превышает деформацию растяжения более чем в 10 раз [6]. Образование при деформации сжатия переуплотненных глыб, разрушение которых требует дополнительных затрат энергии, так же повышает энергоемкость процесса обработки почвы.

Поэтому одним из способов снижения энергетических затрат на обработку почвы является использование рабочих органов, геометрия которых обеспечивает переменную деформацию почвенного пласта [7, 8].



Рисунок 1 – Рабочая секция чизельного плуга с улучшенной геометрией поверхности рабочего органа

Figure 1 – The chisel plow working section with improved geometry of the surface of the working body

Для аналитического описания такой поверхности рассмотрим движение частицы почвы по поверхности произвольной формы из точки A в точку B под действием постоянной силы R , рисунок 2.

Критериальное условие минимума энергии, затрачиваемой на перемещение рассматриваемой частицы, запишется в виде [9]:

$$N=0$$

где N – нормальная реакция опорной поверхности.

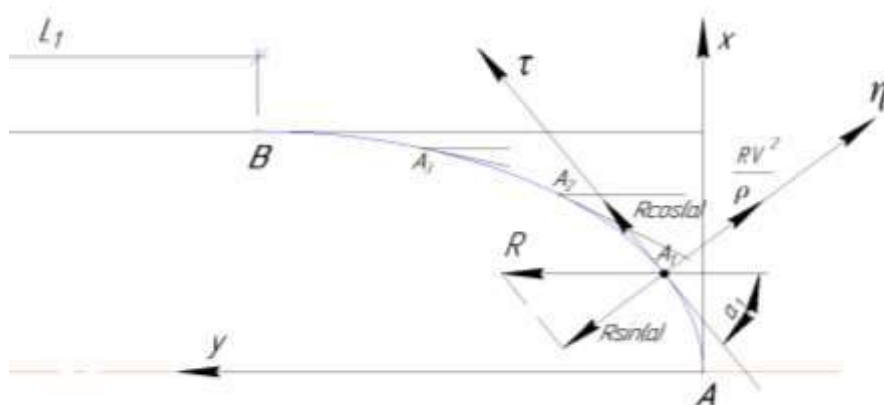


Рисунок 2 – Силы, возникающие при перемещении частицы почвы по параболической поверхности лезвия долота

Figure 2 – Forces arising when moving a soil particle along the parabolic surface of the chisel blade

Рассмотрим положение частиц в произвольный момент времени $t=t_1$, точка A_1 . Дифференциальные уравнения движения частицы в проекциях на оси естественной системы координат запишутся в виде:

$$\frac{dv}{dt} = R \cos \alpha \quad (1)$$

$$N = 0 = R \sin \alpha - R \frac{v^2}{\rho} = \sin \alpha - \frac{v^2}{\rho} \geq 0 \quad (2)$$

Выразив $\cos \alpha = \frac{dy}{ds}$, где S – расстояние от точки A до точки A_1 , получим

$$\frac{dv}{dt} = R \frac{dy}{ds} \quad (3)$$

Учитывая, что $\frac{ds}{dt} = v$, запишем:

$$v dv = R dy \quad (4)$$

Интегрируя выражение 4 при следующих начальных условиях: $t = 0; v = v_0; y = y_0$, получим

$$v^2 = 2Ry + v_0^2 - 2Ry_0 \quad (5)$$

Преобразовав выражение 5, получим

$$v^2 = v_0^2 + 2R(y - y_0) \quad (6)$$

Из уравнения 2 получено

$$v^2 = \rho \frac{dx}{ds} \quad (7)$$

Радиус кривизны траектории ρ выразим через перемещение частицы

$$\rho = \frac{ds}{d\alpha},$$

тогда

$$v^2 = \frac{ds}{d\alpha} \frac{dx}{ds} = \frac{dx}{d\alpha} \quad (8)$$

Согласно [2]

$$d\alpha = \frac{y'' dx}{1 + (y')^2}, \quad (9)$$

следовательно

$$v^2 = \frac{1 + (y')^2}{y''} \quad (10)$$

Подставив выражение 10 в выражение 6, получим:

$$v_0^2 + 2R(y - y_0) = \frac{1 + (y')^2}{y''}, \quad (11)$$

или

$$y'' = \frac{1 + (y')^2}{v_0^2 + 2R(y - y_0)}. \quad (12)$$

Обозначив

$$y' = p = \frac{dy}{dx}, \quad (13)$$

получим

$$y'' = p' = \frac{dp}{dx} = \frac{dp}{dx} \frac{dy}{dy} = p \frac{dp}{dy} \quad (14)$$

Подставив выражение 14 в выражение 12, получим:

$$p \frac{dp}{dy} = \frac{1 + p^2}{v_0^2 + 2R(y - y_0)}, \quad (15)$$

разделив переменные и интегрируя выражение 15 получено

$$\frac{1 + p^2}{1 + p_0^2} = \frac{1}{v_0^2} (v_0^2 + 2R(y - y_0)) \quad (16)$$

из которого получено

$$p^2 = \frac{2R}{v_0^2} (1 + p_0^2)y + p_0^2 - \frac{2R}{v_0^2} y_0 (1 + p_0^2). \quad (17)$$

Введя обозначения

$$A = \frac{2R}{v_0^2} (1 + p_0^2),$$

$$B = p_0^2 - \frac{2R}{v_0^2} (1 + p_0^2) y_0.$$

Получено

$$dx = \frac{dy}{\sqrt{Ay + B}}, \quad (18)$$

интегрируя выражение 18 получено

$$x = x_1 + \frac{2}{A} (\sqrt{Ay + B} - \sqrt{Ay_1 + B}) \quad (19)$$

откуда

$$y = \frac{A}{4} x^2 - \frac{A}{4} x_1^2 + y_1 - \frac{Ax_1}{2} x - x \sqrt{Ay_1 + B} - x_1 \sqrt{Ay_1 + B}. \quad (20)$$

Обозначив:

$$\frac{A}{4} = \alpha,$$

$$\frac{1}{2} Ax_1 - \sqrt{Ay_1 + B} = \beta,$$

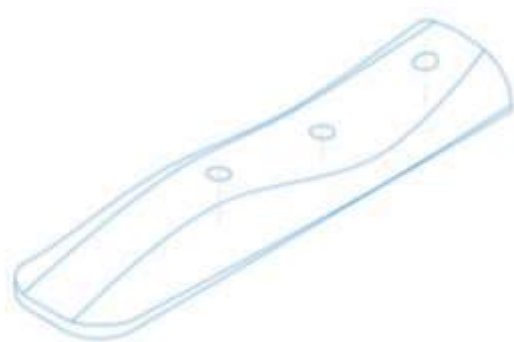
$$\frac{A}{4} x_1^2 - x_1 \sqrt{Ay + B} + y_1 = \chi$$

имеем

$$y = \alpha x^2 - \beta x + \chi. \quad (21)$$

Таким образом, параболическая поверхность рабочего органа может обеспечивать снижение одного из слагаемых общего тягового сопротивления рабочего органа, связанного с перемещением частицы почвы по его поверхности.

Сопрягая профили полученной кривой в области существования геометрических точек рабочего органа, и осуществив вращение кривой относительно продольной оси рабочего органа, была получена 3Д модель рабочей поверхности, представленной на рисунке 3а.



а)



б)

Рисунок 3 – Экспериментальный рабочий орган чизельного плуга: а) – 3Д модель экспериментального рабочего органа; б) – экспериментальный рабочий орган с улучшенной геометрией рабочей поверхности

Figure 3 – Chisel plow experimental working body: а) – a 3D model of an experimental working body; б) – an experimental working body with an improved geometry of the working surface

По полученной 3Д модели рабочего органа в литейной лаборатории ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» была отлита партия экспериментальных долот (Патент на изобретение № 2792117 С1), рисунок 3б.

В качестве основного материала для изготовления экспериментальных долот, согласно рекомендациям [11], был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50. Экспериментальные долота были подвергнуты термической обработке, состоящей из изотермической закали, и низкого отпуска [12]. Основные режимы термической обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы термической обработки, применяемые для упрочнения
экспериментальных долот

Table 1 – Heat treatment modes used for hardening experimental bits

№ партии	Закалка		Отпуск
	Нагрев	Охлаждение	
1	Ступенчатый: до 600°C в печи с шагом 100°C в течение 15 мин. Далее нагрев до 900°C в соляной ванне, время выдержки – 40 мин, затем перенос в соляную ванну $t = 400^\circ\text{C}$, время выдержки 2 часа.	воздух	Температура отпуска - 240°C Время выдержки – 2 часа

С целью оценки эффективности применения экспериментальных долот с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности были проведены сравнительные полевые испытания секций чизельного плуга, оборудованных экспериментальными и серийными рабочими органами.

В процессе проведения эксперимента фиксировались такие параметры как: горизонтальная составляющая тягового сопротивления секции чизельного плуга, крюковая нагрузка трактора, действительная скорость движения машинно-тракторного агрегата, рисунок 4.



Рисунок 4 – Общий вид экспериментального чизельного агрегата

Figure 4 – General view of the experimental chisel unit

Силовые нагрузки измерялись при помощи тензометрических датчиков, наклеенных на стойку рабочей секции и тензометрические пальцы, установленных в нижних и верхней тяге прицепного устройства трактора.

Обработка экспериментальных данных позволила получить графические зависимости изменения тягового сопротивления отдельных секций и крюковой нагрузки трактора в функции скорости движения, рисунки 5, 6.

Анализ графических зависимостей рисунка 5 показывает, что с увеличением скорости движения трактора наблюдается прирост тягового сопротивления секции чизельного плуга. Интенсивность этого прироста больше у секции, оснащенной экспериментальными рабочими органами, но величина среднего значения тягового сопротивления экспериментальных секций ниже. Снижение тягового сопротивления за счет применения экспериментальных долот составило: на скоростях до 6 км/ч – 12 %; на

скоростях свыше 6 км/ч – 8%. Такой эффект можно объяснить тем, что при работе на повышенных скоростях пласт почвы, движущийся по рабочей поверхности, не успевает полностью повторить профиль рабочего органа, что приводит к снижению доли деформаций, связанных с растяжением почвенного пласта. Такой же эффект наблюдается и при анализе графических зависимостей рисунка 6. Снижение общей крюковой нагрузки трактора за счет применения экспериментальных долот составило: на скоростях до 6 км/ч – 9 %; на скоростях свыше 6 км/ч – 6%.

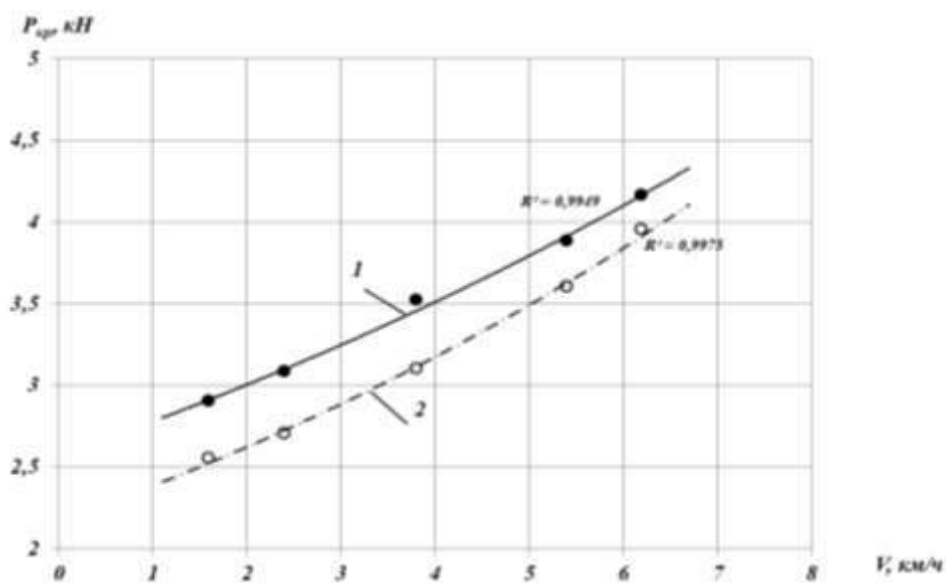


Рисунок 5 – Изменение тягового сопротивления чизельной стойки от скорости движения агрегата: 1 – серийные рабочие органы; 2 – экспериментальные рабочие органы

Figure 5 – Change in the traction resistance of the chisel rack from the speed of movement of the unit: 1 – serial working bodies; 2 – experimental working bodies

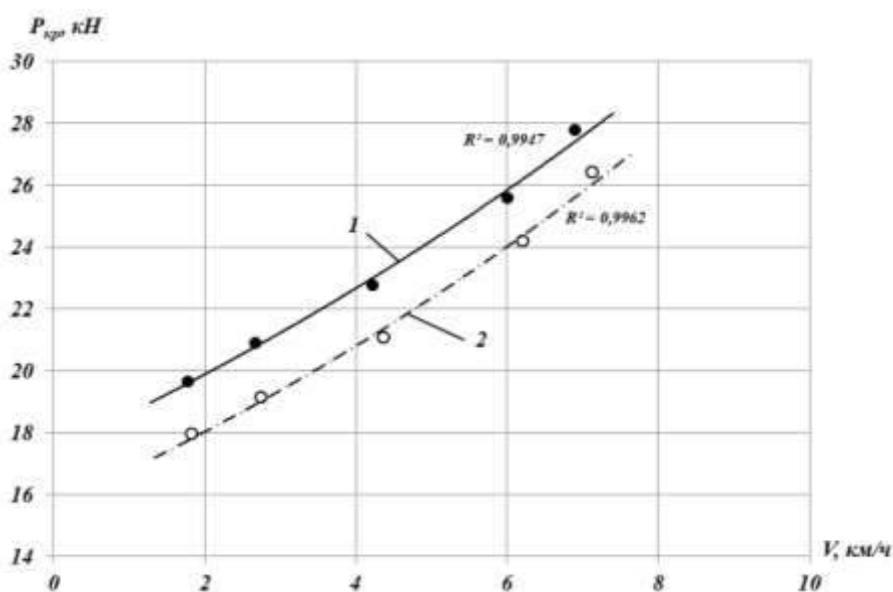


Рисунок 6 – Изменение крюковой нагрузки чизельного агрегата ДТ75+ОЧО-5×40 от скорости движения: 1 – серийные рабочие органы; 2 – экспериментальные рабочие органы

Figure 6 – The change in the hook load of the chisel unit DT75+ OCHO-5×40 from the speed of movement: 1 – serial working bodies; 2 – experimental working bodies

Заключение. На основании моделирования процесса перемещения почвенной частицы по поверхности рабочего органа получено уравнение параболы, которое может быть использовано при обосновании поверхности рабочего органа, обеспечивающей переменную деформацию почвенного пласта при его перемещении.

Создана 3Д модель и натурный образец экспериментального рабочего органа чизельного плуга с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности.

Анализ результатов полевых исследований энергоемкости технологического процесса чизелевания почвы показал, что использование рабочих органов с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности позволяет снизить общее тяговое сопротивление трактора на 6-9%. Отмечено, что эффективность применения экспериментальных рабочих органов снижается при увеличении скорости движения агрегата.

Conclusions. Based on the simulation of the process of moving the soil particle on the surface of the working element, the parabola equation is obtained, which can be used when justifying the surface of the working element, which provides variable deformation of the soil layer during its movement.

A 3D model and a full-scale sample of an experimental working organ of a chisel plow with improved geometric characteristics of the working surface were created.

Analysis of the results of field studies of the energy intensity of the technological process of soil desiccation showed that the use of working tools with improved geometric characteristics of the working surface allows reducing the total traction resistance of the tractor by 6-9%. It was noted that the effectiveness of the use of experimental working elements decreases with an increase in the speed of movement of the unit.

Библиографический список

1. Борисенко И. Б., Пындак В. И., Новиков А. Е. Развитие чизельных почвообрабатывающих орудий и их теоретическое обоснование. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. № 2. С. 12-19.
2. Борисенко И. Б., Сидоров А. Н., Мезникова М. В., Сытилин М. Н. Технологический процесс основной обработки как фактор ресурсосбережения при возделывании сельскохозяйственных культур. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2020. С. 112-118.
3. Бердышев В. Е., Цепляев А. Н., Шапоров М. Н., Харлашин А. В., Седов А. В., Цепляев В. А., Борисенко И. Б. Теория и расчет технологических параметров сельскохозяйственных машин. Волгоград, 2018.
4. Ayadi Ibrahmi, Hatem Bentaher, Aref Maalej Soil-blade orientation effect on tillage forces determined by 3D finite element models Spanish. Journal of Agricultural Research. 2014. Pp. 941-951.
5. Barr J. B., Ucgul M., Desbiolles J. M. A., Fielke J. M. Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method. Biosystems Engineering. 2018. No 171. Pp. 1-15.
6. Новиков А. Е., Борисенко И. Б., Чамурлиев О. Г., Чамурлиев Г. О., Плющиков В. Г. Волновое разрушение закрытых почвогрунтов. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. 2018. С. 422-427.
7. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokh V., Antoshchenkov R., Mykhailov A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.
8. Gabitov I., Mudarisov S., Gafurov I., Ableeva A., Negovora A., Davletshin M., Rakhimov Z., Khamaletdinov R., Martynov V., Yukhin G. Evaluation of the efficiency of mechanized technological processes of agricultural production. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13 (Specialissue10). Pp. 8338-8345.
9. Guerra A. J. T., Fullen M. A., Jorge M. D. C. O., Bezerra J. F. R., Shokr M. S. Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. Pedosphere. 2017. V. 27. P. 2741.

10. Моторин В. А., Гапич Д. С. Концептуальная модель использования высокоуглеродистых сплавов при изготовлении деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2020. С. 316-321.

11. Гапич Д. С., Моторин В. А., Новиков А. Е., Олейников Р. Н. Металлографические исследования легированной режущей кромки лемеха плуга. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 369-378.

References

1. Borisenko I. B., Pyndak V. I., Novikov A. E. Development of chisel tillage tools and their theoretical justification. Agricultural machinery: maintenance and repair. 2021. № 2. Pp. 12-19.

2. Borisenko I. B., Sidorov A. N., Meznikova M. V., Sytilin M. N. The technological process of the main processing as a factor of resource saving in the cultivation of crops. Optimization of agricultural land use and strengthening the export potential of the agro-industrial complex of the Russian Federation based on convergent technologies: materials of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2020. Pp. 112-118.

3. Berdyshev V. E., Tseplyaev A. N., Shaprov M. N., Kharlashin A. V., Sedov A. V., Tseplyaev V. A., Borisenko I. B. Theory and calculation of technological parameters of agricultural machines. Volgograd, 2018.

4. Ayadi Ibrahmi, Hatem Bentaher, Aref Maalej Soil-blade orientation effect on tillage forces determined by 3D finite element models Spanish. Journal of Agricultural Research. 2014. Pp. 941-951.

5. Barr J. B., Ucgul M., Desbiolles J. M. A., Fielke J. M. Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method. Biosystems Engineering. 2018. No 171. Pp. 1-15.

6. Novikov A. E., Borisenko I. B., Chamurliov O. G., Chamurliov G. O., Plyushchikov V. G. Wave destruction of closed soils. Virtual modeling, prototyping and industrial design. 2018. Pp. 422-427.

7. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokh V., Antoshchenkov R., Mykhailov A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.

8. Gabitov I., Mudarisov S., Gafurov I., Ableeva A., Negovora A., Davletshin M., Rakhimov Z., Khamaletdinov R., Martynov V., Yukhin G. Evaluation of the efficiency of mechanized technological processes of agricultural production. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13 (Specialissue10). Pp. 8338-8345.

9. Guerra A. J. T., Fullen M. A., Jorge M. D. C. O., Bezerra J. F. R., Shokr M. S. Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. Pedosphere. 2017. V. 27. P. 2741.

10. Motorin V. A., Gapich D. S. Conceptual model of the use of high-carbon alloys in the manufacture of parts of working organs of tillage tools. Optimization of agricultural land use and strengthening the export potential of the agro-industrial complex of the Russian Federation based on convergent technologies: materials of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2020. Pp. 316-321.

11. Gapich D. S., Motorin V. A., Novikov A. E., Oleinikov R. N. Metallographic studies of the alloyed cutting edge of a plow ploughshare. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. № 4 (60). Pp. 369-378.

Информация об авторах

Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры "Электроснабжение и энергетические системы", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Швабауэр Юрий Александрович, 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

Субботин Станислав Игоревич, 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

Губайдуллин 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, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Schwabauer Yuri Aleksandrovich, graduate student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Subbotin Stanislav Igorevich, graduate student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Gubaidulin Daniyar Samatovich, graduate student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-41

AGROTECHNICAL METHODS OF WEED CONTROL

D. A. Nekhoroshev¹, V. E. Berdyshev², N. D. Nekhoroshev¹, D. D. Nekhoroshev¹

¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russia*

²*Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow State Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: dmitr-nech@yandex.ru

Received 28.09.2023

Submitted 14.11.2023

Abstract

Introduction. The basis of crop production technology is a set of agrotechnical operations and organizational and technical measures related to preparing the soil for sowing and protecting crops from weeds. The use of agrotechnical methods of surface tillage allows simultaneously with the use of technical means without the use of chemical methods to perform weed control operations. **Object.** The object of the study is an improved working organ of a steam cultivator. **Materials and methods.** A working body of the KPS – 4 steam cultivator is proposed to combat weeds during surface tillage in steam fields, as well as in row spacing cultivated by a wide-row method of agricultural crops in irrigated and non-irrigated agriculture. By properly influencing the soil, we create optimal conditions for the development and growth of the root system of agricultural crops. As a result of loosening or compaction of the soil before sowing, effective fertility increases due to the optimal content of moisture, air and nutrients in it. **The purpose of our research is aimed at** to increase the efficiency of surface tillage through the use of a self-cleaning working organ of a steam cultivator, which helps to reduce energy and economic costs in the cultivation of agricultural crops. **Results and conclusions.** The created design of the working organ of the cultivator eliminates the overhang of plant residues of trimmed weeds on the rack of the pointed paw, providing a reduction in traction resistance, increasing productivity and quality of tillage by completely pruning weeds in the upper horizon of the soil, preventing the removal of moist soil to the treated surface.

Key words: surface tillage, working elements of cultivators, weed vegetation, steam cultivators.

Citation. Nekhoroshev D. A., Berdyshev V. E., Nekhoroshev N. D., Nekhoroshev D. D. Agrotechnical methods of weed control. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 409-417 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-41.

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

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

УДК 631.33.2:633.16

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ**Д. А. Нехорошев¹**, доктор технических наук, профессор**В. Е. Бердышев²**, доктор технических наук, профессор**Н. Д. Нехорошев¹**, лаборант**Д. Д. Нехорошев¹**, кандидат технических наук, доцент¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. Тимирязева
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Основу технологии производства сельскохозяйственных культур представляет совокупность агротехнических операций и организационно-технических мероприятий, связанных с подготовкой почвы к посеву и защиты посевов от сорной растительности. Использование агротехнических способов поверхностной обработки почвы позволяет одновременно с использованием технических средств без использования химических способов выполнять операции по борьбе с сорняками. **Объект.** Объектом исследования является усовершенствованный рабочий орган парового культиватора. **Материалы и методы.** Предлагается рабочий орган парового культиватора КПС-4 для борьбы с сорной растительностью при поверхностной обработке почвы на паровых полях, а также в междурядьях, возделываемых широкорядным способом сельскохозяйственных культур в орошаемом и неорошаемом земледелии. Правильно воздействуя на почву, мы формируем оптимальные условия для развития и роста корневой системы сельскохозяйственных культур. В результате разрыхления или уплотнения почвы перед посевом увеличивается эффективное плодородие за счет оптимального содержания в ней влаги, воздуха и питательных веществ. **Цель наших исследований направлена** на повышение эффективности поверхностной обработки почвы за счет использования самоочищающегося рабочего органа парового культиватора, который способствует снижению энергетических и экономических затрат при возделывании сельскохозяйственных культур. **Результаты и выводы.** Созданная конструкция рабочего органа культиватора исключает нависание растительных остатков подрезанных сорняков на стойку стрельчатой лапы, обеспечивая снижение тягового сопротивления, повышение производительности и качества обработки почвы путём полного подрезания сорняков в верхнем горизонте почвы, предотвращая вынос влажной почвы на обрабатываемую поверхность.

Ключевые слова: *поверхностная обработка почвы, рабочие органы культиваторов, сорная растительность, паровые культиваторы.*

Цитирование. Нехорошев Д. А., Бердышев В. Е., Нехорошев Н. Д., Нехорошев Д. Д. Агротехнические методы борьбы с сорной растительностью. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 409-417. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-41.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. К сельскохозяйственному производству России в настоящее время предъявляются высокие требования по повышению рентабельности, урожайности и экологической безопасности производимой продукции.

Особое внимание уделяется технологическим процессам, связанным с обработкой почвы и подготовкой её к посеву. В настоящее время используются все существующие технологии и методы. Но среди этих методов наиболее эффективным и экологически чистым является совместное применение механического и физического методов, вместо

широко используемого метода с использованием гербицидов. Существующие методы обработки почвы постоянно совершенствуются в технологическом процессе, связанном с уничтожением сорняков. Они являются эффективными и экологически безопасными способами, которые направлены на снижение засорённости посевов, защиты растений от болезней и вредителей без применения пестицидов и гербицидов [13].

Агротехнические приёмы уничтожения сорной растительности с использованием технических средств рассматриваются как основное мероприятие по регулированию биологических процессов и агрофизических условий по повышению плодородия почвы [9, 12]. Основные преимущества агротехнических приемов отражаются в экономической эффективности применения современных почвообрабатывающих машин и средств по сравнению с другими.

Своевременное выполнение в оптимальные агротехнические сроки агротехнических приемов обработки почвы позволяет значительно уменьшить количество сорняков в посевах сельскохозяйственных культур – на 45-55%, создать благоприятные условия для развития культурных растений, задержать развитие сорняков, вредителей и болезней.

Среди агротехнических приемов, применяемых для подготовки почвы к посеву, следует выделить основную обработку почвы и поверхностную, которые выполняются с целью накопления влаги и борьбы с сорняками. В системе технологических операций по выращиванию зерновых культур большое значение уделяется борьбе с корнеотпрысковыми и карантинными сорняками. Выполнение этих операций должно соответствовать научно обоснованным севооборотам в сочетании с мероприятиями по защите растений и внесению удобрений.

Особое внимание следует уделять борьбе с сорняками при внедрении технологии минимальной обработки почвы и в районах, имеющих водную и ветровую эрозию, когда использование гербицидов позволяет снизить количество почвообработок, усиливающих эрозию.

В настоящее время в системе земледелия используются комплексные меры борьбы с сорняками, которые являются составной частью интегрированной системы, обеспечивающей защиту растений от вредителей и болезней. В применяемых системах земледелия комплексные меры борьбы с сорной растительностью являются частью интегрированной системы, направленной на борьбу с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур. Она наиболее эффективна при использовании всех методов борьбы для достижения максимальной урожайности. Использование в мировой практике комплекса интегрированных мер позволило добиться высоких урожаев сельскохозяйственных культур до 5...6 т/га при использовании существующей технологии, обеспечивающей получение стабильного и устойчивого урожая независимо от природно-климатических условий.

Внедрение комплексной системы защиты растений от сорняков выполняют одновременно с улучшением севооборотов и проектированием современных технологий обработки почвы. Совмещение нескольких агротехнических и биологических способов уничтожения сорняков в севооборотах применяется при обработке полей, засорённых многолетними сорняками без использования химических методов борьбы с сорняками. Сущность использования такого метода заключается в регулярной подрезке стеблей сорняков при уходе за парами с последующим угнетением жизнеспособных растений стерней сельскохозяйственных культур.

Совмещение механического способа удаления сорняков одновременно с биологическим способом угнетения применяют при обработке посевов кукурузы и подсолнечника. По эффективности использование этого метода при уходе за посевами пропашных культур приближается к уходу за чистыми парами [5, 6].

Максимальный эффект от внедрения комбинированных способов обработки почвы с сорняками достигается одновременно с использованием механического способа при подготовке почвы к посеву и уходу за парами. Глубина обработки почвы должна выполняться на глубину до 27 см, плантажная на глубину 35...40 см одновременно с обработкой дисковыми тяжёлыми боронами на глубину от 12 до 14 см, а на почвах, подверженных водной и ветровой эрозии, культиваторами-плоскорезами по стерне на глубину 20... 25 см.

Комплексная (интегрированная) технология борьбы – совокупность использования агротехнических, химических, биологических, экологических и других мероприятий, построенная на основе научных и практических позициях, направлена на снижение численности сорных и карантинных растений до величины экономического порога вредоносности растений.

Материалы и методы. Для выполнения агротехнических мероприятий, направленных на борьбу с сорняками, применяются паровые культиваторы и специальные для междурядной обработки почвы [7, 8, 11]. Но при выполнении культивации происходит нависание подрезанных сорняков на стойку рабочего органа культиватора. При этом нарушаются агротехнические требования к обработке почвы и снижается производительность агрегата при культивации. Для устранения этих недостатков разработано устройство (рисунок 1), обеспечивающее защиту стойки лапы культиватора от нависания подрезанных сорняков при культивации.

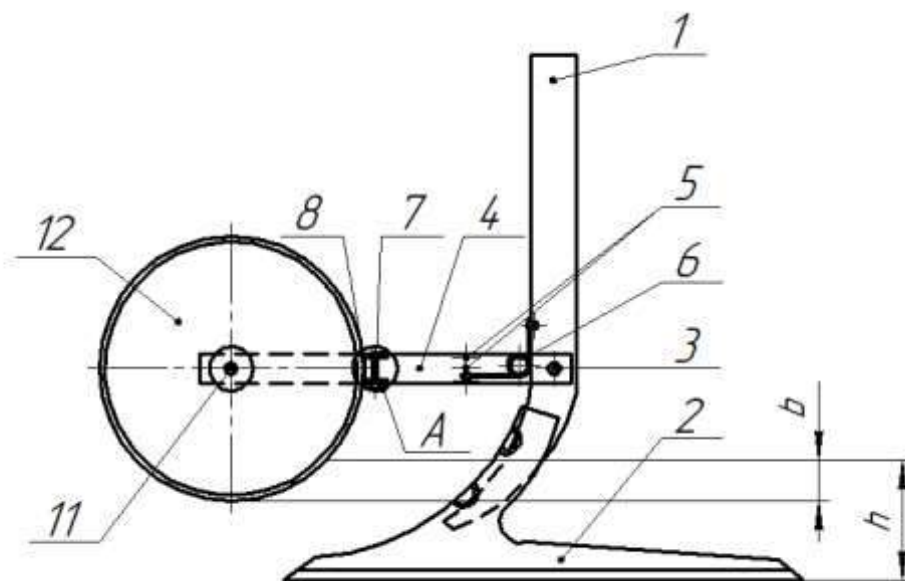


Рисунок 1 – Рабочий орган культиватора КПС-4

1 – стойка; 2 – стрельчатая лапа; 3 - шарнир; 4 – рычаг; 5 – отверстия; 6 – пружина; 7 – палец; 8 – поводок; 9 – регулировочная пластина; 10 – отверстия; 11 – ось; 12 – сферический диск

Figure 1 – The working element of the cultivator KPS-4

1 – a rack; 2 – a pointed paw; 3 - a hinge; 4 – a lever; 5 - a hole; 6 – a spring; 7 – a finger; 8 – a leash; 9 – an adjustment plate; 10 – holes; 11 – an axis; 12 - a spherical disk

Перед подготовкой машинно-тракторного агрегата к выполнению технологической операции культивация, по агротехническим требованиям, необходимо на культиваторе выполнить технологические регулировки глубины обработки почвы и расстановки рабочих органов на раме. Затем произвести агрегатирование трактора с культиватором.

При работе культиватора закреплённая на стойке 1 культиваторная лапа 2 производит подрезание слоя почвы на заданную глубину „h”. При этом корни сорняков и другие растительные остатки частично подрезаются или разрываются, но в основной массе нависают на лобовой поверхности стойки 1. Для лучшей очистки рабочего органа от растительных остатков перед стойкой движется сферический диск 12, который вращается на оси 11, закреплённой на поводке 8, шарнирно соединённого пальцем 7 с рычагом 4, который болтом 3 шарнирно закреплён на стойке 1. Сферический диск 12, получая вращение от взаимодействия с почвой, производит рыхление верхнего слоя и подрезание корневой системы сорных растений, отбрасывая их в сторону от стойки 1. При движении сферического диска 12 создаётся участок обработанной почвы в виде полосы шириной „a” и взрыхлённой на глубину „h”, расположенную перед стойкой 1, предотвращая обволакивание стойки растительными остатками.

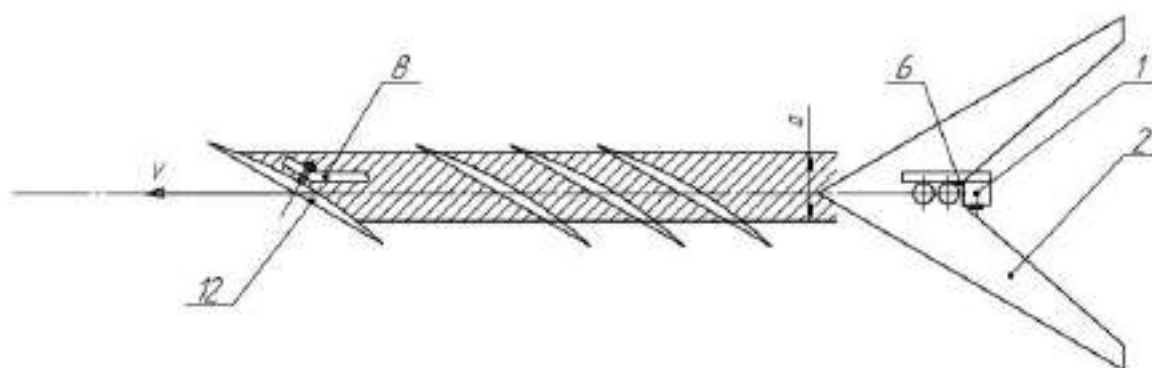


Рисунок 2 – Зона обработки сферическим диском
Figure 2 – Spherical disk processing zone

В случае попадания на пути движущегося рабочего органа препятствий, срабатывает пружина 6, обеспечивая диску 12 возможность перемещения в вертикальной плоскости с целью копирования обрабатываемой поверхности почвы. Жёсткость пружины 6 и сила прижатия диска 12 к почве регулируется перестановкой пружины по отверстиям 5 на рычаге 4.

Глубина обработки почвы „h” и ширина „a” обрабатываемой полосы регулируется изменением угла атаки „α” диска (рисунок 3).

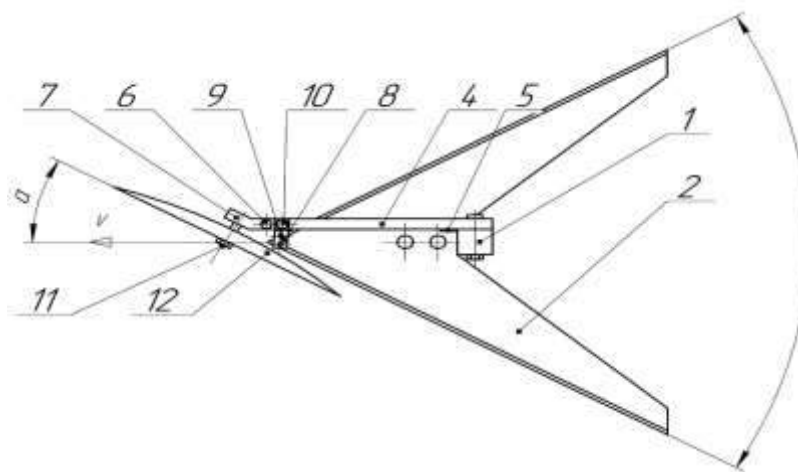


Рисунок 3 – Расположение сферического диска на стойке
Figure 3 – Location of the spherical disk on the rack

Для этого необходимо переставить фиксирующий болт 10 в соответствующее отверстие регулировочной пластины 9. Отверстия на пластине расположены так, что перестановка на одно отверстие изменяет угол атаки на 15^0 . Максимальный угол атаки 30^0 .

Изменение угла атаки диска позволяет регулировать ширину обрабатываемой полосы „а” и глубину обработки почвы „h”. Минимальный угол атаки соответствует обработке почвы с малым количеством сорных растений, а при увеличении количества сорняков угол атаки следует увеличивать.

Результаты обсуждения. При работе машинно-тракторного агрегата сопротивление на крюке, создаваемое культиватором, включает усилие на подрезание почвы рабочим органом, деформацию и смещение почвы стойкой, на повышение тягового сопротивления от нависания сорных растений с увеличением скорости движения [4].

Для определения тягового сопротивления по методике [9, 10] определим усилие, затраченное на подрезание почвы с сорняками лезвием стрельчатой лапы, деформацию и смещение почвы стойкой, на преодоление сил трения, возникающих от нависания растительных остатков при увеличении скорости движения, влияющих на повышение тягового сопротивления.

$$F_{\text{тд}} = [F_{\text{трл}} + (F_{\text{рн}} + F_{\text{ст}})] \cdot \mu \cdot V, \quad (1)$$

где $F_{\text{трл}}$ – сила трения почвы о металл на лезвие лапы, Н; $F_{\text{рн}}$ – усилие на подрезание пласта почвы с сорняками лезвием лапы, Н; $F_{\text{ст}}$ – усилие воздействия стойки на почву, Н; V – скорость движения агрегата, км/ч; μ – коэффициент сопротивления перекачиванию.

Определим силу трения на лезвии лапы:

$$F_{\text{трл}} = (S_{\text{н}} \cdot h \cdot \rho \cdot g + 0,6 \cdot m_{\text{с}} \cdot g) \cdot f, \quad (2)$$

где $S_{\text{н}}$ – рабочая площадь стрельчатой лапы, м^2 ; h – глубина обработки почвы, м; ρ – плотность почвы, г/см^3 ; $m_{\text{с}}$ – масса культиватора, кг; f – коэффициент трения почвы о металл; g – 9,81.

Определим усилие подрезание пласта почвы:

$$F_{\text{рн}} = F_{\text{с}} \cdot f, \quad (3)$$

где $F_{\text{с}}$ – Сила тяжести лапы с силой давления пружины $F_{\text{с}}$, действующие в вертикальной плоскости, Н; f – коэффициент трения почвы о металл, при этом f зависит от вида и состояния почвы и может колебаться в широких пределах.

Усилие воздействия стойки на почву.

$$F_{\text{ст}} = F_{\text{д}} + F_{\text{трс}}, \quad (4)$$

где $F_{\text{д}}$ – усилие на перемещение почвы стойкой, Н; $F_{\text{трс}}$ – сила трения почвы по поверхности стойки, Н.

$$F_{\text{ст}} = k \cdot b_{\text{с}} \cdot h + k \cdot b_{\text{с}} \cdot h \cdot \sin \beta \cdot f = b_{\text{с}} \cdot h \cdot k \cdot (1 + f \cdot \sin \beta), \quad (5)$$

где $b_{\text{с}}$ – толщина стойки, м; β – угол наклона передней грани стойки и продольной оси, град; h – расстояние между стойками лап, м; k – удельное сопротивление почвы, Н/м^2 .

Определим тяговое сопротивление агрегата:

$$F_{\text{тд}} = (S_{\text{н}} \cdot h \cdot \rho \cdot g + 0,6 \cdot m_{\text{с}} \cdot g) \cdot f + t_{\text{л}} \cdot b_{\text{л}} \cdot k + b_{\text{с}} \cdot h \cdot k \cdot (1 + f \cdot \sin \beta) \cdot \mu \cdot V. \quad (6)$$

Управляемыми величинами, которые влияют на тяговое сопротивление, являются рабочая скорость движения V и расстояние между рабочими органами h . На изменение тягового сопротивления самое сильное влияние оказывает сила трения почвы по лезвию лапы. Это подтверждают и ранее проведенные исследования [1, 2, 3].

На изменение тягового сопротивления большое влияние оказывает сила трения почвы по поверхности стойки, которая с увеличением скорости постоянно возрастает от нависания подрезанных сорняков.

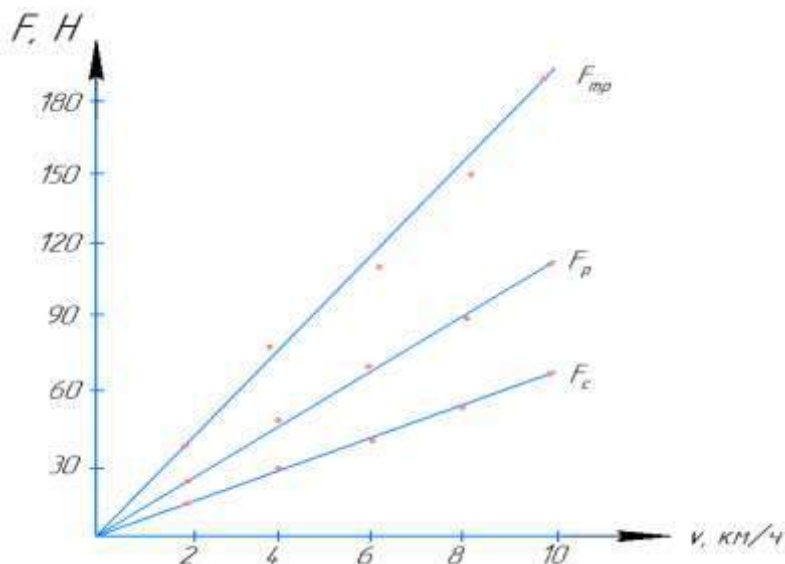


Рисунок 4 – Влияние сопротивления рабочих органов культиватора на скорость движения агрегата

Figure 4 – The effect of the resistance of the cultivator's working elements on the speed of movement of the unit

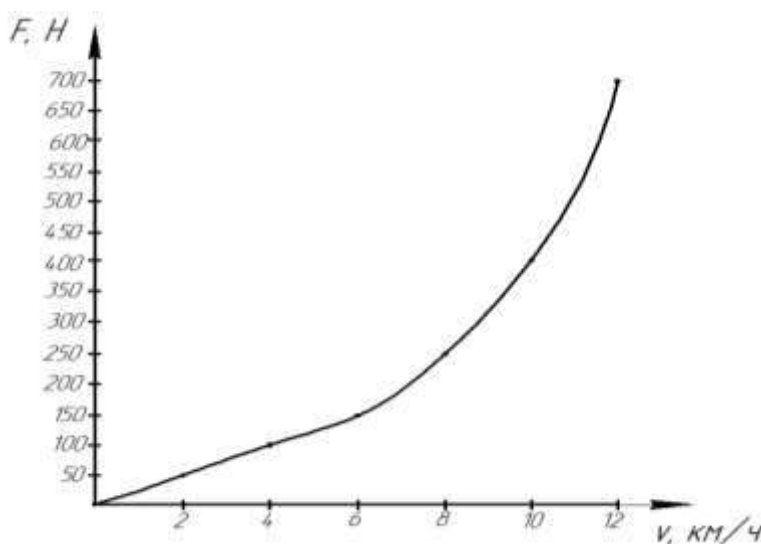


Рисунок 5 – Влияние скорости движения агрегата на тяговое сопротивление рабочего органа

Figure 5 – The effect of the unit speed on the traction resistance of the working element

Выводы. Использование усовершенствованного рабочего органа в конструкции парового культиватора позволяет:

1. Выполнять эффективную работу по подрезанию и вычёсыванию сорняков (не менее 90 %), бороться с корнеотпрысковыми и карантинными сорняками в фазе бутонизации. Создать благоприятные условия для провокации роста однолетних сорняков, которые уничтожаются повторными обработками по мере их прорастания. Использование агрегата на обработке паров позволяет сократить число повторных обработок (2 вместо 3...4 по существующей технологии) при большей эффективности.

2. Культиватор, оснащённый новым рабочим органом, позволяет повысить производительность МТА на культивации до 18% за счет снижения тягового сопротивления на рабочем органе и всём агрегате, уменьшить простои агрегата для очистки рабочих органов, так как в процессе работы отсутствует нависание подрезанных сорняков на стойку рабочего органа культиватора.

Conclusions. Use of improved working element in design of steam cultivator allows:

1. Carry out effective work on cutting and combing weeds (at least 90%) to combat root and quarantine weeds in the budding phase. Create favorable conditions for provoking the growth of annual weeds, which are destroyed by repeated treatments as they germinate. The use of the steam treatment unit reduces the number of repeated treatments (2 instead of 3... 4 according to the existing technology) with greater efficiency.
2. The cultivator, equipped with a new working element, allows increasing the productivity of MTA in cultivation up to 18% by reducing the traction resistance on the working element and the entire unit, to reduce the downtime of the unit for cleaning working elements. Since during operation there is no overhang of cut weeds on the stand of the cultivator working element.

Библиографический список

1. Камбулов С. И., Божко И. В., Пархоменко Г. Г. и др. Экспериментальная установка для исследования почвообрабатывающих рабочих органов. Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 6. С. 37-42.
2. Кудзаев А. Б., Уртаев Т. А., Цгоев А. Э. Результаты полевых испытаний секции многофункционального культиватора. Известия горского государственного аграрного университета. 2010. Т. 47. Ч. 2. С. 135-137.
3. Кудзаев А. Б., Коробейник И. А. Обоснование параметров упругих стоек и подвесок для пропашного культиватора, предназначенного для эксплуатации на почвах, засоренных камнями. Известия Горского государственного аграрного университета. 2012. Т. 49. Ч. 3. С. 311-323.
4. Лебедев А. Т., Лебедев К. А., Магомедов Р. А. и др. Повышение ресурса культиваторных лап. Научное обозрение. 2015. № 3. С. 50-57.
5. Мартынов И. С., Шапоров М. Н. Рабочий орган для поверхностной обработки почвы. Сельский механизатор. 2021. № 6. С. 40.
6. Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Бородин В. И. Рабочий орган для междурядной обработки почвы. Сельский механизатор. 2022. № 10. С. 8.
7. Несмиян А. Ю., Должиков В. В. Обзор культиваторов для сплошной обработки почвы итенденции их производства. Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 4.
8. Руденко Н. Е., Кайванов С. Д., Завялик Ф. Н. Инновационная стрельчатая почвообрабатывающая лапа. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 6. С. 16-19.
9. Руденко Н. Е., Носов И. А., Кайванов С. Д., Петухов Д. А. Ресурсосберегающий пропашной культиватор. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 4. С. 31-37.
10. Руденко Н. Е., Кайванов С. Д., Петухов Д. А., Чаплыгин М. Е. На повышенных скоростях. Агробизнес. 2017. № 3. С. 21-24.
11. Уртаев Т. А., Коробейник И. А., Цгоев Д. В., Цгоев А. Э. Пропашной культиватор для обработки почв засоренных камнями, с автоматической настройкой рабочих органов. Известия горского государственного аграрного университета. 2011. Т. 48. Ч. 1. С. 209-211.
12. Ovchinnikov V. I. The optimum geometrical form modeling of the "Striegel" type harrow. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. No 23. Pp. 9138-9144.
13. Nekhoroshev N. D., Arinushkin A. P., Nekhoroshev D. A., Nekhoroshev D. D., Polikarpova T. A., Matasov A. N. The working organ of the cultivator KPS – 4 with a needle disk for weed control. International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment. 2023. P. 087.

References

1. Kambulov S. I., Bozhko I. V., Parkhomenko G. G., et al. Experimental installation for the study of tillage working bodies. Tractors and agricultural machines. 2017. No 6. Pp. 37-42.
2. Kudzaev A. B., Urtaev T. A., Tsгоеv A. E. Results of field tests of the multifunctional cultivator section. News of the mountain state agrarian university. 2010. V. 47. PART 2. Pp. 135-137.

3. Kudzaev A. B., Korobeinik I. A. Justification of the parameters of elastic racks and suspensions for a row cultivator intended for operation on soils clogged with stones. News of Gorsky State Agrarian University. 2012. V. 49. PART 3. Pp. 311-323.
4. Lebedev A. T., Lebedev K. A., Magomedov R. A. et al. Increased resource of cultivating paws. Scientific review. 2015. № 3. Pp. 50-57.
5. Martynov I. S., Shaprov M. N. Working organ for surface tillage. Rural machine operator. 2021. № 6. P. 40.
6. Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. Working body for inter-row tillage. Rural machine operator. 2022. № 10. Pp. 8.
7. Nesmiyan A. Yu., Dolzhikov V. V. Review of cultivators for continuous tillage of soil of their production. Tractors and agricultural machinery. 2013. № 4.
8. Rudenko N. E., Kaivanov S. D., Zavyalik F. N. Innovative lancet tillage paw. Agricultural machinery and technology. 2016. № 6. Pp. 16-19.
9. Rudenko N. E., Nosov I. A., Kaivanov S. D., Petukhov D. A. Resource-saving row cultivator. Agricultural machinery and technology. 2017. № 4. Pp. 31-37.
10. Rudenko N. E., Kaivanov S. D., Petukhov D. A., Chaplygin M. E. At higher speeds. Agribusiness. 2017. № 3. Pp. 21-24.
11. Urtaev T. A., Korobeinik I. A., Tsgoev D. V., Tsgoev A. E. Propashnaya cultivator for processing soils clogged with stones, with automatic tuning of working organs. News of the Mountain State Agrarian University. 2011. V. 48. PART 1. Pp. 209-211.
12. Ovchinnikov V. I. The optimum geometrical form modeling of the "Striegel" type harrow. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. No 23. Pp. 9138-9144.
13. Nekhoroshev N. D., Arinushkin A. P., Nekhoroshev D. A., Nekhoroshev D. D., Polikarpova T. A., Matasov A. N. The working organ of the cultivator KPS – 4 with a needle disk for weed control. International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment. 2023. P. 087.

Информация об авторах

Нехорошев Дмитрий Артёмович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технические системы в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т, Университетский, д. 26.), e-mail: dmitr-nech@yandex.ru

Нехорошев Никита Дмитриевич, лаборант кафедры «Энергетические системы и электростанции», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т, Университетский, д. 26.), e-mail: nikita.nech@yandex.ru

Нехорошев Дмитрий Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетические системы и электростанции», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т, Университетский, д. 26.), e-mail: ndd.volgau.@yandex.ru

Бердышев Виктор Егорович, доктор технических наук, профессор, руководитель учебно-методического центра обеспечения подготовки кадров АПК (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 58, к. 325), e-mail: v.berdishev@rgau-msha.ru

Author's Information

Nekhoroshev Dmitry Artemovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of "Technical Systems in Agriculture", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, av. Universitetskiy, 26.), e-mail: dmitr-nech@yandex.ru

Nekhoroshev Nikita Dmitrievich, Laboratory assistant of the Department of "Energy Systems and Power Plants", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, av. Universitetskiy, 26.), e-mail: nikita.nech@yandex.ru

Nekhoroshev Dmitry Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department "Energy Systems and Power plants", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, av. Universitetskiy, 26.), e-mail: ndd.volgau.@yandex.ru

Berdyshev Viktor Egorovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the educational and methodological center for ensuring the training of personnel of the agro-industrial complex, Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow State Agricultural Academy, (Russian Federation, 127550, Moscow, st. Timiryazevskaya, 58, b. 325), e-mail: v.berdishev@rgau-msha.ru

NEURO-ANALYTICAL FORECASTING OF YIELD IN PROGRAMMED CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS TAKING INTO ACCOUNT AGROTECHNOLOGICAL FACTORS

A. F. Rogachev, E. V. Melikhova, E. P. Borovoy, I. S. Belousov

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: rafr@mail.ru

Received 10.10.2023

Submitted 13.11.2023

The article was prepared with the financial support of the RFBR and the Administration of the Volgograd Region under project No. 19-416-340014

Summary

Modeling the processes of bio-productivity of agricultural land is a complex multisectoral problem. The combination of a variety of biological, soil-climatic, agrotechnological and organizational-economic factors for crop forecasting requires the use, adaptation and improvement of intersectoral methods and approaches, including those based on artificial intelligence (AI).

Abstract

Introduction. Agricultural production planning involves the improvement of methods for forecasting the yield and productivity of agricultural crops. In the field of agricultural production, various forecasting methods are used, including trend-seasonal statistical models, as well as artificial intelligence and machine learning methods. However, the practical implementation of such approaches constrains its wide application, in particular, the use of an iterative algorithm of variationally weighted approximations. **Object.** The object is the BP of long-term yield levels of various agricultural crops. **Methods.** Agrophysical processes are modeled by linear and nonlinear ordinary differential equations (ODES), as well as partial differential equations. For statistical evaluation and approximation of empirical results, the method of least modules and its weighted or generalized modifications were used. The fundamental assumption of modeling formulated by A. P. Likhatsevich (Belarus), it is accepted that each of the crop-forming factors, for example, mineral nutrition and heat and moisture availability, informs him of a change that does not depend on the effects of other factors. This can be used in mathematical modeling of the forecast yield by means of differential equations. Numerical studies for the preliminary analysis of the obtained results were carried out in the MS Excel v. 2016 environment. **Results and discussion.** If the modeling of the crop yield level of factors is not linked to the biological characteristics of crops and climatic conditions, then such mathematical models will be quite universal and can adapt to different conditions. Based on the factorial approach of A. P. Likhatsevich, the authors obtained an analytical dependence that provides an operational adjustment of the forecast yield taking into account the results of segmentation of the state of crops. It is shown that it is possible to estimate the level of yield reduction using the analytical dependence obtained by the authors, taking into account the numerical processing of the results of segmentation of the state of agricultural fields, in particular the value of Rdefectn obtained in the process of intelligent segmentation of the sowing area, with a given Ri, add. **Conclusions.** The calculations carried out showed, in particular, that the decrease in the estimated yield on the example of barley from the maximum value of 71.4 c/ha, with values of Rdefectn = 0.2 and the accepted maximum permissible Ri, dop = 0.6 will be up to 55.6 c/ha, and the reduction in yield will be 22%.

Key words: crop yield forecasting, crop productivity modeling, programmed crop cultivation.

Citation. Rogachev A. F. Melikhova E. V., Borovoy E. P., Belousov I. S. Neuro-analytical forecasting of yield in programmed cultivation of agricultural crops taking into account agrotechnological factors. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 418-427 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-42.

Author's contribution. The authors of this study were directly involved in formulating the problem, planning the study, analyzing, presenting conclusions and preparing proposals for production. The authors of this article have reviewed and approved the final version of the article.

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

УДК 631.58:551.5

НЕЙРО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПРИ ПРОГРАММИРУЕМОМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С УЧЕТОМ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**А. Ф. Рогачев**, доктор технических наук, профессор**Е. В. Мелихова**, доктор технических наук, доцент**Е. П. Боровой**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**И. С. Белоусов**, соискатель

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ по проекту № 20-37-90142

Актуальность. Планирование сельскохозяйственного производства предполагает совершенствование методов прогнозирования урожайности и продуктивности агрокультур. В сфере аграрного производства применяются различные методы прогнозирования, включая тренд-сезонные статистические модели, а также методы искусственного интеллекта и машинного обучения. Однако практическая реализация таких подходов сдерживает его широкое применение, в частности использование итерационного алгоритма вариационно-взвешенных приближений. **Объект исследования** – ВР многолетних уровней урожайности различных сельскохозяйственных культур. **Методы исследования.** Агрофизические процессы биопродуктивности с.-х. культур моделируются линейными и нелинейными дифференциальными уравнениями (ОДУ), а также дифференциальными уравнениями в частных производных. Для статистической оценки и аппроксимации эмпирических результатов использовался метод наименьших модулей и его взвешенная или обобщенная модификация. Основопологающим допущением моделирования, сформулированным А. П. Лихацевичем (Беларусь), принято, что каждый из факторов, формирующих урожайность, например уровень минерального питания и тепло- и влагообеспеченность, привносит изменение, не зависящее от влияния других факторов. Это может использоваться при математическом моделировании прогнозной урожайности посредством дифференциальных уравнений. Численные исследования для предварительного анализа получаемых результатов проводились в среде MS Excel v. 2016. **Результаты и обсуждение.** Если моделирование уровня урожайности сельскохозяйственных культур факторов не увязывать с биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и природно-климатическими условиями, то такие математические модели окажутся достаточно универсальными и могут адаптироваться для различных условий. На основе факторного подхода А. П. Лихацевича авторами получена аналитическая зависимость, обеспечивающая оперативную корректировку прогнозной урожайности с учетом результатов сегментации состояния посевов. Проиллюстрирована расчетами с использованием полученной авторами аналитической зависимости оценка снижения урожайности на основе численной обработки результатов сегментации состояния сельскохозяйственных полей, в частности величины R_{defectn} , полученной в процессе интеллектуального сегментирования участка посева, при задаваемом $R_{\text{идоп}}$. **Выводы.** Подтверждено расчетами, что снижение урожайности, на примере ячменя, от максимального значения 71.4 ц/га, при значениях $R_{\text{defectn}} = 0.2$ и принятом предельно допустимом $R_{\text{идоп}} = 0.6$ составит до 55.6 ц/га, а сокращение урожайности составит 22%.

Ключевые слова: прогнозирование урожайности, моделирование продуктивности культур, программированное возделывание культур.

Цитирование: Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В., Боровой Е. П., Белоусов И. С. Нейро-аналитическое прогнозирование урожайности при программируемом возделывании сельскохозяйственных культур с учетом агротехнологических факторов. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 418-427. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-42.

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.

Резюме. Моделирование биопродуктивности сельскохозяйственных культур возможно на основе математической модели, учитывающей факторы внешней среды и оперативное состояние посевов. Прогнозирование урожайности возможно на основе адаптации и совершенствования факторного нейро-аналитического подхода, в том числе на основе методов искусственного интеллекта, включая семантическую сегментацию.

Введение. Основы программируемого возделывания сельскохозяйственных культур заложены в работах академиков ВАСХНИЛ и РАН С. Ф. Аверьянова, Б. Ю. Маслова, Г. Е. Листопада, И. П. Кружилина, В. Н. Щедрина, и других ученых. Возможности прогнозирования урожайности на основе математического моделирования различных аспектов обеспечения биопродуктивности, определяемой физическими процессами в системе «почка-растение-атмосфера». Моделирование различных аспектов аграрного производства заложены чл.-корр. А. П. Лихацевичем (Республика Беларусь), В. И. Ольгаренко, В. А. Кардашом, А. С. Фальковичем, В. В. Корсаком и другими исследователями.

Эффективность аграрного производства прежде всего определяет урожайность возделываемых культур, определяемая рядом факторов различной природы. В работах В. Филина, Р. Полуэктова, Н. Пронько, Ф. Микаэлся, Т. Сафроновой, Л. Хворовой, А. Цепляева, А. Шеина и других ученых исследуются процессы агрофизики почв, вегетационных циклов, динамики мелиоративных процессов различных почвенно-климатических зон.

Сложность исследования агрофизических процессов обусловлена тем, что, как указано в работе Т. И. Сафроновой, «почва как объект сельскохозяйственного использования и мелиорации является открытой саморегулирующейся системой, существование и функционирование которой обеспечивается постоянным обменом веществ и энергией с окружающей средой (растениями, атмосферой, поверхностными и подземными водами, почвообразующими породами)» [1].

Проблемность адекватного моделирования сложных агрофизических систем определяется необходимостью адаптации моделей к различным специфическим почвенно-климатическим условиям [2, 3]. В частности, в работе Л. А. Хворовой [4] рассматривается моделирование и оптимизация агро-, био- и экосистем на основе их структурно-параметрической идентификации. Авторы на модульной основе моделируют балансовые структуры, описывающие динамику процессов в системе «почва – растение – атмосфера».

Продукционные процессы моделируются с использованием аппарата линейных и нелинейных дифференциальных уравнений, в частности обыкновенных (ОДУ), например, в форме

$$A \cdot \varphi = f, \quad (1)$$

где A представляет собой некоторый дифференциальный оператор.

Решение (1) ищется в виде функции $\varphi(x, t)$, определяемой в некоторой области Q . В одномерном случае операторы A, B могут принимать вид (2) с краевыми условиями $B\varphi = g$:

$$A\varphi = A_1 \frac{\partial A_2 \varphi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_3 \frac{\partial \varphi}{\partial x} - A_4 \varphi - A_5 \right) + A_6 \varphi; \quad (2)$$

$$B\varphi = B_1 \frac{\partial \varphi}{\partial x} + B_2 \varphi. \quad (3)$$

Моделирование влагопереноса в почве по вертикальной координате x , как важнейшего условия развития растений, определяется законом Дарси и можно описывать известным уравнением Ричардса [5]:

$$\frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k^w(P) \frac{\partial P(x, t)}{\partial x} - 1 \right) - f(x, t), \quad (4)$$

где θ – объемная влажность; P – капиллярный потенциал почвенной влаги; $k^w(P)$ – гидропроводность почвы; $f(x, t)$ – поглощение влаги корнями растений t – время.

Динамика прироста биомассы растений с учетом органики, приведенная в статье В. Четырбоцкого и др. [6], математически моделируется системой ДУ, где два последних уравнения характеризуют изменение органики:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial B}{\partial t} = f_B(T, W) [d_0 - \varphi(t) + \sum_{i=1}^{n_c} d_i^{(c)} C_i + \sum_{k=1}^{n_y} d_k^{(y)} Y_k - d_1 B] B \\ B(0, x, y, z) = B_{\min}(x, y, z) \\ \frac{\partial S}{\partial t} = \varphi(t) B - (d_0^{(s)} + \sum_{k=1}^{n_y} d_k^{(s)} Y_k) S + D_S \nabla^2 S \\ S(0, x, y, z) = S_0(x, y, z) \end{array} \right. , \quad (5)$$

где функция $f_B(T, W)$ описывает влияние температурно-влажностного режимов.

Семейство математических моделей, описывающих влияние основных агротехнических факторов на величину урожая, предложено академиком А. П. Лихацевичем (Беларусь) в работах [7]. Предпосылки и допущения, обосновывающие математическое моделирование, не увязаны с биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и складывающихся природно-климатических условий, поэтому математические модели достаточно универсальны и могут адаптироваться для различных культур.

Основной предпосылкой аналитического подхода А. Лихацевича состоит в том, что «бесконечно малое изменение урожая Y под воздействием какого-то фактора R_i (влаги, пищи, тепло) пропорционально произведению восприимчивости урожая к действию данного фактора на характеристику воздействия этого фактора на урожай» [7]. Подход к моделированию урожайности с учетом причинно-следственного влияния описывается следующим дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial Y}{\partial R_i} = \alpha_i f_i(Y, R_i) g_i(R_i), \quad (6)$$

где Y – уровень урожайности; α_i – безразмерная константа; $f_i(Y, R_i)$ – аналитическая функция, моделирующая восприимчивость воздействия на Y i -го фактора; $g_i(R_i)$ – безразмерная зависимость воздействия на Y i -го фактора.

Одним из основополагающих допущений моделирования, сформулированное в цитируемой статье А. П. Лихацевича, принято, что «... каждый из факторов, действующих на урожай, сообщает ему изменение, не зависящее от воздействий других факторов» [7]. Установлено, что растения можно моделировать как объекты с памятью, для которых значение урожая формируется внутренними и внешними факторами окружающей среды, включая долгосрочные. Лихацевичем А. П. показано, что по сравнению с

однофакторным прогнозом урожайности, учитывающим только уровень минерального питания, введение в модель дополнительных факторов (водного и теплового) позволяет повысить надежность аппроксимации результатов полевого опыта.

Приведенный аналитический обзор задач моделирования показателей сельскохозяйственного производства подтверждает, что для повышения точности прогнозирования требуется, наряду с классическими, применение и интеллектуальных методов моделирования с использованием ИИ, в частности нейросетевых. При этом с целью повышения точности перспективным является сочетание нейросетевых и аналитических подходов.

Методы исследования. Цветные изображения сельскохозяйственных полей высокого разрешения для нейро-аналитической корректировки прогнозной урожайности Y получали с помощью БПЛА [10], или специализированных спутников, например, Landsat [12].

При математическом моделировании прогнозного значения урожайности Y для уточнения результатов прогнозирования посредством учета в дифференциальных уравнениях дополнительного фактора R_i , авторами использован подход, сформулированный А. Лихацевичем [7]

$$\frac{\partial Y}{\partial R_i} = \alpha_i f\left(\frac{Y_{\max}, Y}{R_{i(\text{opt})}, R_i, R_{i(\text{min, max})}}\right) g\left(\frac{R_{i(\text{opt})}, R_i}{R_{i(\text{opt})}, R_i, R_{i(\text{min, max})}}\right), \quad (7)$$

где α_i – параметр интенсивности влияния i -го фактора на Y ; $R_i(\text{opt})$ – оптимум, $R_i(\text{min})$ – допустимый минимум; $R_i(\text{max})$ – максимум величины урожая; f – функция, моделирующая восприимчивость влияния i -го фактора, g – управляющее воздействие.

Таким образом, за основу аналитического моделирования совместного влияния внешних факторов на урожайность сельскохозяйственных культур принималась факторная модель А. Лихацевича, которым обоснованы базовые предпосылки факторной математической модели. В частности, влагообеспеченность в зонах достаточного увлажнения можно характеризовать атмосферными осадками, выпадающими в периоде вегетации. Теплообеспеченность можно охарактеризовать наибольшими суточными температурами воздуха.

Оперативное состояние посевов оценивалось методом нейросетевой семантической сегментации цветных изображений с оценкой доли дефектных участков.

Численные исследования для предварительного анализа получаемых результатов проводились в среде MS Excel v. 2016.

Результаты и обсуждение. Получим аналитическую оценку уровня снижения урожайности с использованием базовых факторов и результатов интеллектуальной оперативной оценки состояния сегментированных сельскохозяйственных полей. Результаты семантической сегментации сельскохозяйственных полей на примере Побединского сельского поселения Быковского района (Волгоградская область) [12] представлены на рисунке.

Для оценки уровня прогнозируемой урожайности с использованием данных минерального питания и тепловлагообеспеченности, а также результатов оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных посевов была разработана нейро-аналитическая модель, учитывающая влияние дополнительных факторов.

Исходная зависимость для оценки потенциальной урожайности от систематизированного набора n учитываемых факторов, принималась в виде

$$\frac{Y}{Y_{\max}} = \exp \left\{ - \sum_{i=1}^n \left[a_i \left(\frac{R_{i\text{opt}} - R_i}{R_i - R_{i(\min, \max)}} \right)^2 \right] \right\}, \quad (8)$$

где $Y_{\max}$ – биологический максимум оцениваемого значения Y ; a_i – коэффициент влияния i -го фактора внешней среды; $R_{i\text{opt}}$ – оптимальное значение фактора; R_i ; R_i – фактическое значение фактора i ; $R_{i(\min, \max)}$ – минимальное (либо максимальное) значения i -го фактора, при которых урожай погибнет.

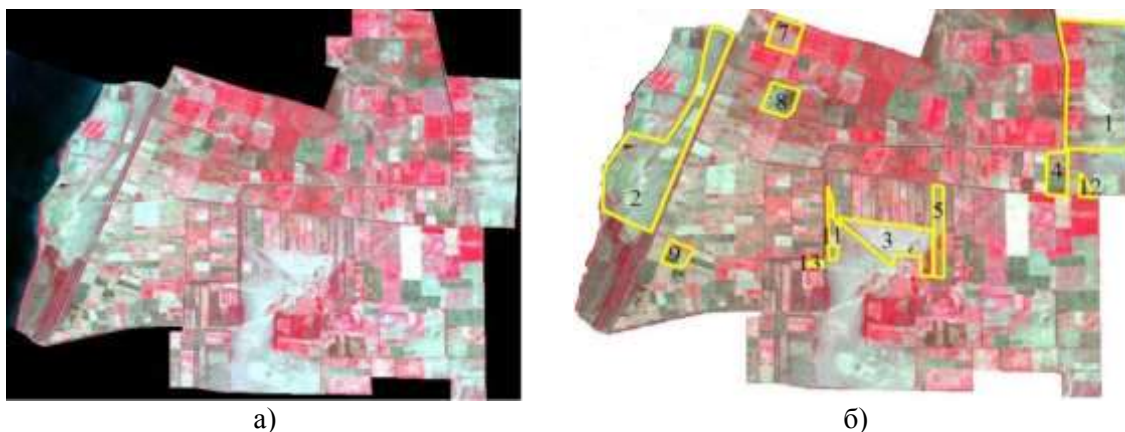


Рисунок – Спутниковые изображения с.-х. полей: а) исходное; б) сегментированное
Figure – Satellite images of agricultural fields: a) initial; b) segmented

С учетом проведенной верификации с использованием результатов полевых опытов, А. Лихацевичем показано, что полученные им зависимости представляют «действительную математическую модель урожая. Эти зависимости, обобщающие воздействие факторов среды на урожай, можно с успехом применять в любых регионах, а также в других почвенно-климатических условиях» [7].

Факторное моделирование экспериментальных результатов полевого опыта с учетом агротехнологических факторов посредством зависимости (8) позволило получить конкретное уравнение (9) вида

$$\frac{Y}{Y_{\max}} = \exp \left\{ - \left[a_N \left(\frac{N_{\text{opt}} - N}{N - N_{\min}} \right)^2 + a_W \left(\frac{W_{\text{opt}} - W}{W - W_{\min(\max)}} \right)^2 + a_T \left(\frac{T_{\text{opt}} - T}{T - T_{\min(\max)}} \right)^2 \right] \right\}, \quad (9)$$

где N_{opt} , W_{opt} , T_{opt} – оптимальные значения соответственно азота, почвенной влаги и тепла, обеспечивающие биологический максимум урожая;

$N_{\min}$, $W_{\min(\max)}$, $T_{\min(\max)}$ – значения соответственно нормы азота, почвенной влаги и тепла, при которых урожай перестает формироваться.

Параметризованная по данным Н.Н. Семененко [11] зависимость (9) принимает числовой вид

$$Y = 71.4 \cdot \exp \left\{ - \left[\left(\frac{100 - N}{N + 208} \right)^2 + \left(\frac{52 - W}{W - 3} \right)^2 + \left(\frac{22.5 - T_{\max}}{T_{\max} - 19} \right)^2 \right] \right\}. \quad (10)$$

По мнению авторов, анализ описанного подхода А. П. Лихацевича к факторному моделированию урожайности позволяет распространить его на n анализируемых предикторов. Тогда такой подход можно использовать для учета дополнительных, к ранее исследованным, влияющих факторов, в частности состояния сельскохозяйственных полей, оцениваемого по результатам интеллектуального распознавания и семантической сегментации.

В качестве такого дополнительного фактора, совокупно определяющего значение величины урожайности, нами предложено использовать относительную долю $R_{i, \text{доп}}$ дефектных участков посевов, выявляемую в процессе мониторинга, например с использованием БПЛА или спутниковых снимков [10, 12].

Используя результаты проведенных исследований сегментации вегетативного состояния посевов, дополнительные параметры зависимости (10), адаптированной выражением (11)

$$\frac{Y}{Y_{\text{max}}} = \exp \left\{ - \sum_{i=1}^n \left[a_i \left(\frac{R_{i, \text{опт}} - R_i}{R_i - R_{i, (\text{min}, \text{max})}} \right)^2 \right] \right\} \quad (11)$$

где n – общее число анализируемых факторов; $R_{i, \text{опт}} = 0.0$ – значение дополнительного i -го фактора, выявляемого на поле без дефектов развития растений; R_i – значение дополнительного i -го фактора, получаемое по результатам интеллектуальной сегментации; $R_{d, (\text{min}, \text{max})}$ – значения дополнительного фактора, при котором уборка (транспортировка, обработка, хранение) урожая экономически нецелесообразна.

Тогда диапазон варьирования дополнительного фактора зависимости (11) принимаем в пределах

$$R_i > (0.4 \dots 0.6). \quad (12)$$

Значения урожаяформирующих факторов, на примере ячменя [11], принимались согласно приведенным в таблице 1, а весовые коэффициенты составляли

$$a_N = 1; a_W = 1; a_T = 1.$$

Значения параметров, моделирующих состояние участков с дефектами развития, выбирались следующие: $a_d = 1$; $R_{d, (\text{min}, \text{max})} = 0.5$.

Таблица 1 – Значения к расчету урожайности ячменя на удобренных почвах

Table 1 – Values for calculating the yield of barley on fertilized soils

Y_{max} , ц/га	N_{opt} , кг д.в./га	N_{min} , кг д.в./га	W_{opt} , мм	W_{min} , мм	T_{max} , град	$T_{\text{max}}(\text{min})$, град	$R_{d, (\text{min}, \text{max})}$
71.4	100	–208	52	3	22.5	19	0.4...0.8

Адаптированная аналитическая зависимость для оценки прогнозной урожайности принимает вид

$$Y = 71.4 \cdot \exp \left\{ - \left[\left(\frac{100 - N}{N + 208} \right)^2 + \left(\frac{52 - W}{W - 3} \right)^2 + \left(\frac{22.5 - T_{\text{max}}}{T_{\text{max}} - 19} \right)^2 + \left(\frac{1.0 - R_{i, \text{доп}}}{R_{i, \text{доп}} - R_{d, (\text{min}, \text{max})}} \right)^2 \right] \right\} \quad (13)$$

Отрицательное значение величины д.в. азота ($N_{\text{min}} = -188$ кг д.в./га) обусловлено тем, что в исследуемой почве еще до внесения азотных удобрений уже содержание азота составляло свыше 188 кг д.в./га ($N_{\text{почвы}} > N_{\text{min}}$).

Результаты оценки урожайности по зависимости (13) показали, что оцениваемое снижение значения прогнозной урожайности ячменя от максимального значения 71.4 ц/га, при величине $R_{\text{defectn}} = 0.2$, полученной в процессе интеллектуального сегментирования участка посева, и принятом предельно допустимом значении $R_{i, \text{доп}} = 0.6$, составит до 55.6 ц/га, или сократится на 22%.

Отметим, что корректность использования полученной зависимости обосновано в пределах полученных и аппроксимированных значений показателей, используемых в математической модели [8, 9], а также в аналогичных климатических условиях. Огра-

ничения применимости базовой модели, аппроксимированной в условиях фосфорно-калийного фона $P_{80}K_{120}$, определяются пределами вариации факторов, описанными в полевых опытах Н. Н. Семененко [11], кг д.в./га:

$$\begin{aligned} 0 < N < 220; \\ 40 < W < 180; \\ 22,0 < T_{\max} < 24,5. \end{aligned} \quad (14)$$

Следовательно, оценка уровня снижения урожайности возможна с использованием зависимости (12) на основе результатов интеллектуальной семантической сегментации состояния посевов сельскохозяйственных культур, проводимой по цветным изображениям участков, полученным с применением БПЛА [10].

Выводы. 1. Получена нейро-аналитическая модель прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе адаптации факторной зависимости А. Лихацевича, учитывающая, в качестве дополнительного фактора, результаты нейросетевой сегментации изображений участков сельскохозяйственных посевов.

2. Обоснована возможность использования полученной нейро-аналитической модели для оперативной оценки уровня прогнозного снижения урожайности, относительно биологически возможной, с использованием данных минерального питания и тепловлагообеспеченности при программируемом возделывании, а также оперативной оценки результатов нейросетевой сегментации изображений участков сельскохозяйственных полей.

Conclusions. 1. A neuro-analytical model for predicting crop yield based on adaptation of A. Likhatsevich's factor dependence was obtained, taking into account, as an additional factor, the results of neural network segmentation of images of agricultural crop sites.

2. The possibility of using the obtained neuro-analytical model for prompt assessment of the level of predicted reduction in yield, relatively biologically possible, using data of mineral nutrition and heat and moisture supply in programmable cultivation, as well as prompt assessment of the results of neural network segmentation of images of agricultural field areas is justified.

Библиографический список

1. Сафронова Т. И., Степанов В. И. Математические модели в задачах мелиорации: монография. Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 10 (2). С. 165-166.
2. Хворова Л. А., Топаж А. Г. Построение моделей агроэкосистем и их адаптация к конкретным условиям. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 1 (115).
3. Суханов П. А., Комаров А. А., Полуэктов Р. А. Концептуальная модель базы данных для автоматизированного сбора информации о состоянии полей и посевов. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2013. № 31. С. 91-95.
4. Хворова Л. А. Оптимизация процесса структурно-параметрической идентификации моделей продуктивности агроэкосистем. Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 1-1 (73). С. 171-175.
5. Полуэктов Р. А., Топаж А. Г., Якушев В. П., Медведев С. А. Использование динамической модели агроэкосистемы для оценки влияния климатических изменений на продуктивность посевов. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 2. С. 7.
6. Четырбоцкий В. А., Четырбоцкий А. Н., Левин Б. В. Математическое моделирование динамики минерального питания растений в системе «удобрение–почва–растение». Биофизика. 2020. Т. 65. № 6. С. 1219–1229.
7. Лихацевич А. П. Математическая модель урожая сельскохозяйственных культур. Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. 2021. Т. 59. № 3. С. 304–318.
8. Рогачев А. Ф. Параметризация эконометрических зависимостей методом наименьших модулей. Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2011. № 3. С. 0421100034.
9. Рогачев А. Ф., Белоусов И. С. Моделирование процесса обучения нейросети DeepLabv3 для сегментации сельскохозяйственных полей. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023. № 50 (3). С. 142-149.

10. Мелихова Е. В., Мелихов Д. А. Применение беспилотных летательных аппаратов в аграрном производстве. Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2019. № 3. С. 29.

11. Семененко Н.Н. Торфяно-болотные почвы Полесья: трансформация и пути эффективного использования. Минск: Беларус. навука, 2015. 282 с.

12. Боровой Е. П. Применение космических снимков для выявления неиспользуемых земель в Быковском районе Волгоградской области. Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2015. Т. 3. С. 369-373.

13. Melikhova E. V., Rogachev A. F., Skiter N. N. Information system and database for simulation of irrigated crop growing. Studies in Computational Intelligence. 2019. Vol. 826. Pp. 1185-1191.

References

1. Safronova T. I., Stepanov V. I. Mathematical models in reclamation problems: monograph. International Journal of Experimental Education. 2015. № 10 (2). Pp. 165-166.

2. Khvorova L. A., Topazh A. G. Building models of agroecosystems and their adaptation to specific conditions. Scientific and technical sheets SPU. 2011. № 1 (115).

3. Sukhanov P. A., Komarov A. A., Poluektov R. A. Conceptual database model for automated collection of information on the state of fields and crops. News of St. Petersburg State Agrarian University. 2013. № 31. Pp. 91-95.

4. Khvorova L. A. Optimization of the process of structural and parametric identification of productivity models of agroecosystems. News of Altai State University. 2012. № 1-1 (73). Pp. 171-175.

5. Poluektov R. A., Topazh A. G., Yakushev V. P., Medvedev S. A. Using a dynamic model of the agroecosystem to assess the impact of climatic changes on crop productivity. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2012. № 2. Pp. 7.

6. Chetyrbotsky V. A., Chetyrbotsky A. N., Levin B. V. Mathematical modeling of the dynamics of mineral nutrition of plants in the fertilizer-soil-plant system. Biophysics. 2020. V. 65. № 6. Pp. 1219-1229.

7. Likhatsevich A.P. Mathematical model of crop yield. Weight. Nats. Acad. navuk Belarusi. Ser. agrarian. navuk. 2021. V. 59. № 3. Pp. 304-318.

8. Rogachev A. F. Parametrization of econometric dependencies by the method of least modules. Management of economic systems: electronic scientific journal. 2011. № 3. P. 0421100034.

9. Rogachev A. F., Belousov I. S. Modeling of the process of training the neural network DeepLabv3 for segmentation of agricultural fields. Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2023. № 50 (3). Pp. 142-149.

10. Melikhova E. V., Melikhov D. A. The use of unmanned aerial vehicles in agricultural production. International Journal of Applied Sciences and Technology Integral. 2019. № 3. P. 29.

11. Semenenko N. N. Peat-swamp soils of Polesie: transformation and ways of effective use. Minsk: Belarus. navuka, 2015. 282 p.

12. Borovoy E. P. The use of satellite images to identify unused lands in the Bykovsky district of the Volgograd region. Strategic development of the agro-industrial complex and rural territories of the Russian Federation in modern international conditions: materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of Victory in the Great Patriotic War of 1941-1945. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2015. V. 3. Pp. 369-373.

13. Melikhova E. V., Rogachev A. F., Skiter N. N. Information system and database for simulation of irrigated crop growing. Studies in Computational Intelligence. 2019. V. 826. Pp. 1185-1191.

Информация об авторах

Рогачев Алексей Фруминович, доктор технических наук, профессор кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: rafr@mail.ru

Мелихова Елена Валентиновна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: Mel-v07@mail.ru

Боровой Евгений Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Мелиорация земель и комплексное использование водных ресурсов», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

Белюсов Илья Станиславович, аспирант кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: neznaukaknazvatmail@gmail.com.

Author's Information

Rogachev Aleksey Fruminovich, Doctor of engineering Sciences, Professor of the Department of mathematical modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: rafr@mail.ru

Melikhova Elena Valentinovna, Candidate of engineering Sciences, associate Professor, head of the Department of mathematical modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: Mel-v07@mail.ru

Borovoy Evgeny Pavlovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Land Reclamation and Integrated Use of Water Resources, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy pr., 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

Belousov Ilya Sergeevich, Graduate Student of the Department of mathematical modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: neznaukaknazvatmail@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-43

PERFORMANCE AND UPTIME ASSESSMENT LOADER-TRANSPORTER OF HAY ROLLS

A. I. Ryadnov¹, R. V. Lyubimov¹, A. V. Fedorov¹, S. M. Voronin²

¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

²*Kalmyk State University
Elista, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Received 10.09.2023

Submitted 02.11.2023

Summary

The article presents a constructive and schematic diagram of a loader-conveyor of hay rolls designed by the Volgograd State Agrarian University, which is presented in the form of three interconnected systems: chassis, equipment for grabbing and lifting rolls and hydraulic system with drives for grabbing and lifting rolls. From the point of view of the reliability of the unit, its systems are presented as sequentially connected; the results of studies of replaceable productivity and the main indicators of reliability of the loader-conveyor of hay rolls are presented: failure times and the probability of failure-free operation during operation in real conditions of agricultural enterprises.

Abstract

Introduction. Animal husbandry in the Russian Federation is one of the main branches of agriculture, and cattle breeding is its most important subspecies. The provision of meat and milk to the population of the country cannot be successfully carried out without the availability of the necessary amount of high-quality feed for cattle. The most important feed for cattle is coarse feed, in particular, hay. When harvesting hay, there is a risk of significant losses not only of feed volumes, but also of its quality, which leads to poor productivity of animals. The level of feed quality losses is associated to a greater extent with violations of agro technical deadlines, the fulfillment of which is ensured by the necessary number of machines performing individual technological operations, their high replaceable productivity and a sufficient level of reliability. To increase the productivity and reliability of newly developed machines to the required level, it is important to know the achieved level of these indicators not only in the laboratory, but also in real operating conditions. **The purpose of the work** is to assess the performance and the main indicators of reliability of the experimental sample of the loader-conveyor of hay rolls. **Materials and methods.** In the preparation of this work, materials from open source websites, scientific articles and other publications of scientists from

research institutes and higher educational institutions were used. The object of the study was experimental samples of a loader-transporter of hay rolls designed by the Volgograd State Agrarian University, the performance of which has been proven by experimental studies. The methodological basis for assessing the reliability indicators of the loader-transporter of hay rolls was the provisions of probability theories and reliability of technical systems, as well as regulatory documents. **Results and discussion.** Hay bale loader productivity per shift was defined as the total weight of hay bales loaded onto the loader platform, delivered and unloaded at the storage location during the shift. The number of rolls was determined based on the results of timing the work of loaders transporting hay rolls in two farms in the Volgograd region. Based on the results of timing the operation of the units over four harvesting seasons, the average values of the following indicators of the use of the loader-transporter under study were determined: time for shift maintenance; additional time spent preparing the unit for operation; time spent loading one roll (grabbing, lifting and lowering a roll of hay onto the platform of a loader-transporter); cycle time; time spent on loading, delivering, unloading rolls of hay from the loader-transporter and returning it to the field; the number of trips and rolls of hay delivered to the storage location per shift of operation of the unit; duration of cleaning, expressed in shifts; the number of rolls of hay delivered by loader-transporters to the storage location during the harvest season; the mass of hay harvested by one loader-transporter during the harvesting season; changeable performance of the hay bale loader-transporter. The curves of the actual and theoretical density of the time – to – failure distribution and the results of testing the hypothesis of the theoretical distribution law according to the criterion χ^2 are presented. **Conclusions.** According to experimental data obtained as a result of timing two experimental loaders-transporters of hay rolls over four harvesting seasons, it was determined that the number of hay rolls delivered to the storage location by one unit during one shift varied from 40 to 69 pieces; the number of rolls of hay delivered by two loader-transporters to the storage location during the study was 5978 pieces; The productivity of the loader-transporter of hay rolls varied from 53.02 t·km per shift up to 92.50 t·km. With a total operating time of loader-transporters of up to 6,000 pieces of hay rolls, the average time between failures of the chassis was 315 pieces, the equipment for gripping and lifting rolls was 278 pieces, and hydraulic systems with drives for gripping and lifting rolls – 565 pieces, and a loader-transporter of hay rolls – a total of 352 pieces.

Key words: loader-transporter of hay rolls, probability of trouble-free operation, interchangeable capacity of loaders.

Citation. Ryadnov A. I., Lyubimov R. V., Fedorov A. V., Voronin S. M. Performance and uptime assessment loader-transporter of hay rolls. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 427-440 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-43.

Author's contribution. The author of this study was directly involved in the planning, execution and analysis of the results of this study. The author of this article has reviewed and approved the submitted final version.

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

УДК 631.374

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И БЕЗОТКАЗНОСТИ ПОГРУЗЧИКА-ТРАНСПОРТИРОВЩИКА РУЛОНОВ СЕНА

А. И. Ряднов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Р. В. Любимов¹, аспирант

А. В. Федоров¹, аспирант

С. М. Воронин², доктор технических наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, Российская Федерация

Актуальность. Животноводство в Российской Федерации является одной из основных отраслей сельского хозяйства, а скотоводство – важнейшим его подвидом. Обеспечение населения страны мясом и молоком не может успешно выполняться без наличия необходимого объема корма высокого качества для крупного рогатого скота. Важнейшим кормом для крупного рогатого скота

является грубый корм, в частности сено. При заготовке сена возникает риск существенных потерь не только объемов кормов, но и его качества, что приводит к снижению продуктивности животных. Уровень потерь качества корма связан в большей степени с нарушениями агротехнических сроков, выполнение которых обеспечивается необходимым количеством машин, выполняющих отдельные технологические операции, их высокой сменной производительностью и достаточным уровнем безотказности. Для повышения производительности и безотказности вновь разрабатываемых машин до необходимого уровня важно знать достигнутый уровень данных показателей не только в лабораторных, но и в реальных условиях эксплуатации. **Цель работы** – дать оценку производительности и основных показателей безотказности экспериментального образца погрузчика-транспортровщика рулонов сена. **Материалы и методы.** При подготовке настоящей работы были использованы материалы открытых источников сайтов, научные статьи и другие публикации ученых НИИ и высших учебных заведений. Объектом исследования явились экспериментальные образцы погрузчика-транспортровщика рулонов сена конструкции Волгоградского ГАУ, работоспособность которых доказана экспериментальными исследованиями. Методической основой оценки показателей безотказности погрузчика-транспортровщика рулонов сена послужили положения теорий вероятностей и надежности технических систем, а также нормативные документы. **Результаты и обсуждение.** Производительность погрузчика-транспортровщика рулонов сена за смену определялась как суммарная масса рулонов сена, погруженных на платформу погрузчика-транспортровщика, доставленных и выгруженных на месте хранения в течение смены. Количество рулонов определялось по результатам хронометража работы погрузчиков-транспортровщиков рулонов сена в двух хозяйствах Волгоградской области. По результатам хронометража работы агрегатов за четыре уборочных сезона определены средние значения следующих показателей использования исследуемого погрузчика-транспортровщика: время на ежесменное техническое обслуживание; дополнительные затраты времени по подготовке агрегата к работе; затраты времени при погрузке одного рулона (на захват, подъем и опускание рулона сена на платформу погрузчика-транспортровщика); время цикла; затраты времени на погрузку, доставку, выгрузку рулонов сена из погрузчика-транспортровщика и возвращение его на поле; количество рейсов и рулонов сена, доставленных к месту хранения за смену работы агрегата; продолжительность уборки, выраженная в сменах; количество рулонов сена, доставленных погрузчиками-транспортровщиками за уборочный сезон к месту хранения; масса сена, заготовленного одним погрузчиком-транспортровщиком за уборочный сезон; сменная производительность погрузчика-транспортровщика рулонов сена. На основе хронометража работы агрегатов дана оценки показателей безотказности погрузчика-транспортровщика рулонов сена: наработка на отказ и вероятность безотказной работы. Представлены кривые фактической и теоретической плотности распределения наработки на отказ и результаты проверки гипотезы о теоретическом законе распределения по критерию χ^2 . **Выводы.** По экспериментальным данным, полученным в результате хронометража двух экспериментальных погрузчиков-транспортровщиков рулонов сена в течение четырех уборочных сезонов определено, что количество рулонов сена, доставленных к месту хранения одним агрегатом в течение одной смены работы варьировалось от 40 до 69 штук; количество рулонов сена, доставленных двумя погрузчиками-транспортровщиками к месту хранения за время исследований, составило 5978 штук; производительность погрузчика-транспортровщика рулонов сена за смену изменялась от 53,02 т·км до 92,50 т·км. При суммарной наработке погрузчиков-транспортровщиков до 6000 штук рулонов сена средняя наработка на отказ шасси составила 315 шт., оборудования захвата и подъема рулонов 278 шт. и гидросистемы с приводами захвата и подъема рулонов 565 шт., а погрузчика-транспортровщика рулонов сена в целом 352 штук.

Ключевые слова: погрузчик-транспортровщик рулонов сена, вероятность безотказной работы, сменная производительность погрузчиков.

Цитирование. Ряднов А. И., Любимов Р. В., Федоров А. В., Воронин С. М. Оценка производительности и безотказности погрузчика-транспортровщика рулонов сена. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 427-440. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-43.

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. Животноводство в Российской Федерации является одной из основных отраслей сельского хозяйства, а скотоводство – важнейшим его подвидом. При этом преимущественный объем мяса (38-40 %) и молока (95-98%) получают от крупного рогатого скота. Обеспечение населения страны мясом и молоком не может успешно выполняться без наличия необходимого объема корма высокого качества для крупного рогатого скота.

Важнейшим кормом для крупного рогатого скота является грубый корм, в частности сено из различных многолетних и однолетних сеяных трав, а также естественных сенокосов.

При заготовке сена возникает риск существенных потерь не только объемов кормов, но и их качества, что приводит к снижению продуктивности животных [14]. Уровень потерь качества корма связан в большей степени с нарушениями агротехнических сроков. Выполнение агротехнических сроков уборки сельскохозяйственных культур обеспечивается необходимым количеством машин, выполняющих отдельные технологические операции, их высокой сменной производительностью, минимальными потерями времени смены, в частности из-за простоев машин по причине отказов и неисправностей их узлов и агрегатов.

В сельскохозяйственных предприятиях Волгоградской области при заготовке сена наиболее распространенной является технология заготовки сена с прессованием его в тюки и рулоны, так как она до настоящего времени экономически обоснована. При использовании такой технологии заготовки сена технологический процесс полностью механизирован, а потери сухого вещества в сене снижаются до 30-35% [7] и питательных веществ – в 1.5-2 раза [10]. Однако без совершенствования существующих технологий и разработок новых технических средств, в частности для уборки сена, спрессованного в рулоны, решить проблему заготовки грубого корма в необходимом объеме и высокого качества проблематично. При этом вновь разрабатываемые машины должны иметь высокую производительность за смену, а также необходимый уровень надежности [4, 9].

В настоящее время в агропромышленном комплексе используются погрузчики-транспортировщики рулонов сена, например, разработанные по патентам Ю. Н. Блынского и др. РФ № 2047287 (Опубликован 10.11.1995) и № 2108022 (Опубликован 10.04.1998). Положительными свойствами данных транспортных средств является простота их конструкции. Однако они имеют существенный недостаток – значительную потерю времени на переход из транспортного положения в рабочее на этапе перед подъемом рулона, что существенно снижает сменную выработку.

Повышение производительности машин при выполнении работ, в том числе при транспортировке сельскохозяйственных грузов, неразрывно связано с минимизацией потерь времени смены. Снизить потери времени смены возможно, например, за счет повышения уровня безотказности машин, обеспечения при конструировании машины такой наработки до ее отказа, чтобы ее величина была кратной периодичности технического обслуживания машины [11]. В связи с этим важнейшим свойством надежности машин при выполнении конкретной сельскохозяйственной операции является безотказность. В процессе эксплуатации технических систем необходимо поддерживать соответствующий уровень их безотказности [5] и высокую сменную производительность, что позволит при прочих равных условиях выполнять сельскохозяйственные работы в оптимальные агротехнические сроки и повысить эффективность их использования [8].

Повысить безотказность вновь разрабатываемых машин до необходимого уровня невозможно без их испытаний в лабораторных и реальных условиях эксплуатации. Однако до начала исследований машины по оценке уровня показателей ее надежности следует определить необходимый и достаточный объем испытаний [2]. Кроме того, для получения достоверных и достаточно точных результатов необходимо также использовать методы математической статистики [6].

В связи с этим цель настоящей работы – дать оценку производительности и основным показателям безотказности экспериментального образца погрузчика-транспортировщика рулонов сена.

Материалы и методы. При подготовке настоящей работы были использованы материалы открытых источников сайтов, научные статьи и другие публикации ученых НИИ и высших учебных заведений.

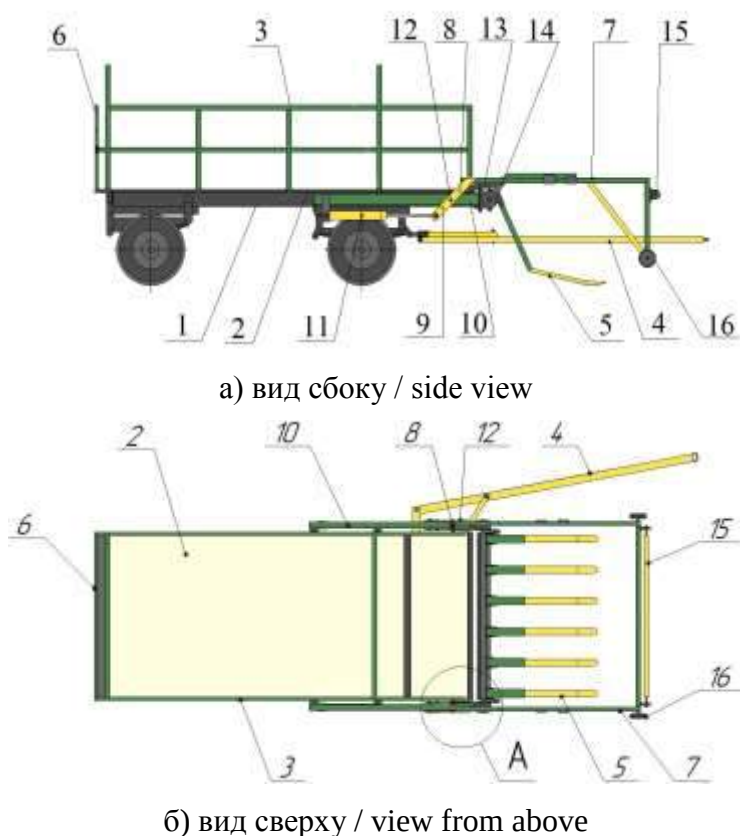


Рисунок 1 – Схема погрузчика-транспортировщика рулонов сена

Figure 1 – Diagram of a loader-transporter of hay rolls



Рисунок 2 – Погрузчик-транспортировщик рулонов сена

Figure 2 – Loader-transporter of hay rolls

Объектом исследования явились экспериментальные образцы погрузчика-транспортировщика рулонов сена конструкции Волгоградского ГАУ (пат. РФ № 2728961. Опубликовано 03.08.2020. Бюллетень № 22) в количестве двух штук.

Схема погрузчика-транспортировщика рулонов сена представлена на рисунке 1, а его фотография – на рисунке 2.

Работоспособность погрузчика-транспортировщика доказана экспериментальными исследованиями.

Погрузчик-транспортировщик рулонов сена состоит из шасси 1, платформы 2, боковых бортов 3, прицепного устройства 4, погрузочного устройства 5, заднего борта 6, захвата 7, верхних роликов 8, нижних роликов 9, направляющих 10, гидроцилиндров 11, рычагов захвата 12, тяги 13, рычага погрузочного устройства 14, вращающейся балки 15 и ограничителя захвата 16.

В качестве энергетического средства погрузчика-транспортировщика рулонов сена использовался трактор МТЗ-82.1.

Работает погрузчик-транспортировщик рулонов сена следующим образом.

До начала погрузки рулонов сена с поля, на котором рулоны сена уложены рядами, погрузчик-транспортировщик переводят из транспортного положения в рабочее, что обеспечивает параллельное движение по полю энергетического средства, например, трактора МТЗ-82.1 и погрузчика-транспортировщика.

Затем погрузочное устройство 5 с помощью гидросистемы энергетического средства опускается до контакта с поверхностью поля. Одновременно с этим захват 7 погрузочного устройства 5 выдвигается вперед на расстояние S , равное 0,5-0,6 диаметра рулона $D_{рул.}$ (рисунок 3).

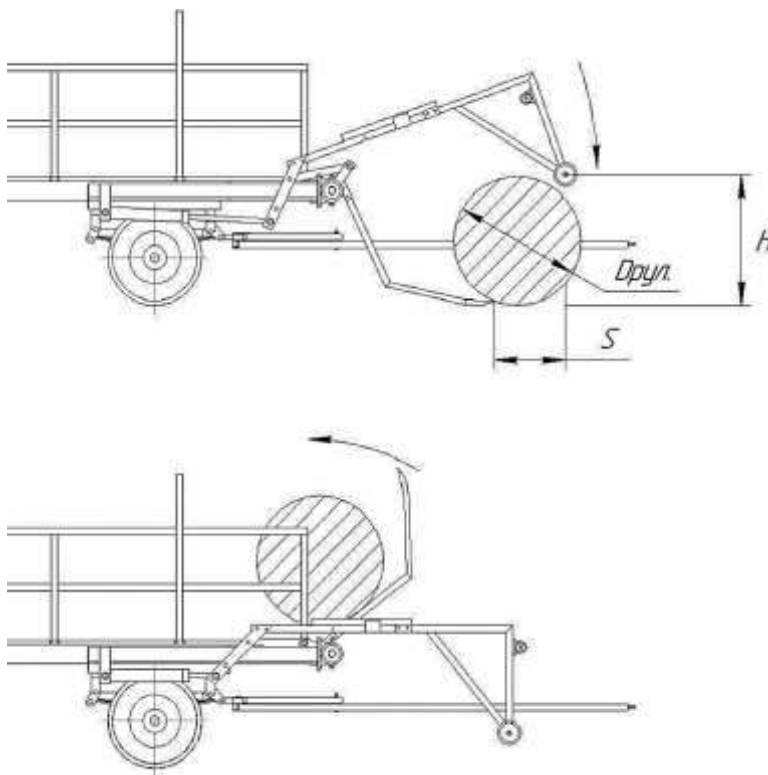


Рисунок 3 – Направление движения погрузочного устройства в процессе погрузки рулона
Figure 3 – The direction of movement of the loading device during the loading of the roll

Оператор направляет машинно-тракторный агрегат таким образом, чтобы рулон располагался между направляющими погрузчика 5 и переводит рукоять гидрораспределителя на «опускание». При этом штоки гидроцилиндров 11 втягиваются, воздействуя на рычаги захвата 7 и поворачивая его под углом относительно осей верхних роликов 8 до момента, когда они упрутся в направляющие 11. Погрузчик 5 также уже

опустится, а захват 7 продолжит движение, подтягивая рулон на погрузчик 5. Затем оси начнут толкать рычаги погрузчика 14, заставляя тем самым его поднять рулон и подать его на платформу 2, а рулон скатится по платформе 2 к заднему борту 6 транспортировщика.

Процесс погрузки следующих рулонов сена повторяется. Затем прицепное устройство 4 переводят в транспортное положение. Рулоны сена доставляются к месту хранения. На месте разгрузки рулонов сена задний борт 6 открывают, при опускании которого его удерживают при помощи закрепленных цепей в подвешенном положении таким образом, чтобы он мог образовать рампу, по которой рулоны скатываются.

Показатели производительности и безотказности погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена определялись на основе результатов хронометража их работы в течение четырех уборочных сезонов (2020-2023 гг.) при погрузке рулонов сена со средней массой 147 кг, сформированных пресс-подборщиками ПР-110М, и транспортировке на край поля. При этом первый погрузчик-транспортировщик рулонов сена использовался в «АК/Ф/Х «Кузнецовская» Иловлинского района, а второй – в ИП Алмазова П. К. Кумылженского района Волгоградской области.

Методической основой оценки показателей безотказности погрузчика-транспортировщика рулонов сена послужили положения теорий вероятностей [1] и надежности технических систем [5, 6, 9, 12, 13], а также нормативные документы (ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 22 с. и ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017. 16 с.).

Результаты и обсуждение. Производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сена за смену $W_{см}$ (т·км) определялась как суммарная масса рулонов сена, погруженных на платформу погрузчика-транспортировщика, доставленных и выгруженных на месте хранения в течение смены:

$$W_{см} = \sum_{i=1}^{i=N_p} m_i L_i, \quad (1)$$

где m_i – масса одного рулона, т; N_p – количество рулонов, доставленных в течение смены к месту хранения, шт., L_i – расстояние перевозки рулонов, км.

Количество рулонов (N_p) и расстояние перевозки рулонов (L_i) определялись по результатам хронометража работы погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена в двух хозяйствах.

Средние значения составляющих затрат времени смены, зависящих от технологии уборки рулонов сена с использованием исследуемого погрузчика-транспортировщика, полученные в результате хронометража агрегатов за четыре уборочных сезона, представлены в таблице 1.

Из данных, представленных в табл. 1, следует:

- за все годы исследований затраты времени на захват одного рулона сена, на его подъем и опускание на платформу погрузчика-транспортировщика без учета времени на подъезд агрегата к рулону примерно одинаковы для исследуемых объектов;
- затраты времени на погрузку, доставку, выгрузку рулонов сена из погрузчика-транспортировщика и возвращение его на поле составили 0,7 ч и 0,56 ч соответственно для первого и второго агрегата. Отличие затрат этого времени связано, в основном, с расстоянием транспортировки рулонов сена с поля к месту их хранения.

Таблица 1 – Результаты хронометража использования агрегатов в течение смены
Table 1 – Results of timing the use of units during a shift

Исследуемый показатель / Test parameter		№ погрузчика- транспортировщика ру- лонов сена / No. of hay bale loader-transporter	
		1	2
Затраты времени на ЕТО, ч / Wasting time on THIS, h		0,40	0,33
Дополнительные затраты времени на подготовку агрегата к работе, ч / Additional time spent on preparing the unit for operation, h		0,24	0,26
Затраты времени при по- грузке одного рулона, ч / Time spent loading one roll, h	захват / capture	0,0028	0,0026
	подъем / climb	0,0030	0,0030
	опускание / lowering	0,0023	0,0022
Время цикла погрузки, ч / Loading cycle time, h		0,023	0,021
Затраты времени на погрузку, доставку, выгрузку рулонов сена из погрузчика-транспортировщика и возвращение его на поле, ч / Time spent on loading, delivery, unloading rolls of hay from a loader-transporter and returning it to the field, h		0,70	0,56

В табл. 2 представлены средние значения показателей использования двух исследуемых погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена, полученные в результате хронометража агрегатов за четыре уборочных сезона.

Таблица 2 – Показатели использования погрузчиков-транспортировщиков
Table 2 – Indicators of use of loader-transporters

Исследуемый показатель / Test parameter	№ погрузчика-транспортировщика рулонов сена / No. of hay bale loader-transporter							
	1				2			
	Год исследований / A year of research							
	1	2	3	4	1	2	3	4
Количество рейсов за смену / Number of flights per shift	8	10	10	9	11	13	13	14
Количество рулонов сена, доставленных за смену к месту хранения, шт. / Number of rolls of hay delivered to the storage location per shift, pcs.	40	48	50	47	55	62	65	69
Продолжительность уборки, смен / Duration of cleaning, shifts	11	13	12	10	14	15	16	16
Количество рулонов сена, доставленных за уборочный сезон к месту хранения, шт. / Number of rolls of hay delivered to the storage location during the harvest season, pcs.	440	624	600	470	770	930	1040	1104
Масса сена, заготовленного одним погрузчиком-транспортировщиком за уборочный сезон, т / Weight of hay harvested by one loader-transporter during the harvest season, t	64,660	91,748	88,234	69,066	113,160	136,740	152,890	162,278
Расстояние перевозки рулонов сена, км / Distance of transportation of hay rolls, km	0,82	0,74	0,77	0,98	0,68	0,65	0,60	0,57
Производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сена за смену, т·км. / Productivity of the loader-transporter of hay rolls per shift, t·km	53,02	67,89	67,94	67,68	76,95	88,88	91,73	92,50

Из данных, представленных в таблице 2 следует:

- количество рулонов сена, доставленных к месту хранения в течение одной смены работы погрузчика-транспортровщика, варьировалось от 40 до 69. При этом второй погрузчик-транспортровщик доставлял рулонов сена к месту хранения больше, чем первый. Это связано с меньшим расстоянием транспортировки рулонов сена с поля к месту их хранения;

- за четыре уборочных сезона два погрузчика-транспортровщика доставили к месту хранения 5978 рулонов сена с общей массой 878,776 т. Средняя масса одного рулона составила 147 кг;

- производительность первого погрузчика-транспортровщика рулонов сена за смену изменялась от 53,02 т·км до 67,89 т·км, а второго – от 76,95 т·км до 92,50 т·км.

При оценке уровня безотказности погрузчика-транспортровщика рулонов сена он был представлен в виде структурной схемы (рисунок 4). Погрузчик-транспортровщик рулонов сена включает три системы: шасси, оборудование захвата и подъема рулонов и гидросистему с приводами захвата и подъема рулонов, каждая из которых состоит из узлов, собранных из деталей и стандартных изделий.



Рисунок 4 – Структурная схема погрузчика-транспортровщика рулонов сена

Figure 4 – Block diagram of a loader-transporter of hay rolls

Уровень безотказности погрузчика-транспортровщика рулонов сена оценивался как в целом, так и по отдельным его системам.

Рассматривая погрузчик-транспортровщик рулонов сена, его системы и узлы с точки зрения оценки их уровня безотказности, выбрали два основных показателя – наработка на отказ $\bar{t}_o$ и вероятность безотказной работы $P(t)$.

В соответствии со схемой, представленной на рисунке 4, шасси, оборудование захвата и подъема рулонов и гидросистема с приводами захвата и подъема рулонов погрузчика-транспортровщика представлены с точки зрения их работы как параллельные системы. Однако с точки зрения оценки надежности погрузчика-транспортровщика данные системы последовательно соединены, так как отказ одной из них приводит к отказу агрегата в целом. Аналогично при оценке надежности каждой из систем ее узлы (с точки зрения надежности) также соединены последовательно.

Число машин, поставленных под наблюдение при оценке средних показателей надежности, равно:

$$N = \chi \cdot \bar{t}_o / t, \quad (2)$$

где χ – коэффициент; t – продолжительность наблюдений; $\bar{t}_o$ – средняя наработка на отказ.

Величина коэффициента χ определяется в зависимости от точности и доверительной вероятности.

При относительной ошибке средней наработки на отказ $\delta = 0,2$, относительной вероятности оценки показателя надежности $\beta = 0,8$, средней наработки на отказ $\bar{t}_0 = 320$ шт. (данная наработка на отказ в штуках загруженных рулонов сена в погрузчик-транспортёрщик получена исходя из предварительных экспериментальных исследований в условиях лаборатории) получим, что достаточно поставить под наблюдение 2 агрегата.

По результатам экспериментальных исследований, полученных на основе хронометража работы двух погрузчиков-транспортёрщиков новой конструкции в течение 4 уборочных сезонов с суммарной наработкой до 6000 рулонов, были составлены статистические ряды информации наработки до отказов, которые послужили основой для расчета необходимых показателей безотказности.

Количество интервалов статистического ряда n_j для погрузчика-транспортёрщика рулонов сена определяли по формуле [6]:

$$n_j = \sqrt{M_j}, \quad (3)$$

где M_j – суммарное количество отказов погрузчика-транспортёрщика рулонов сена период исследований.

В настоящей работе наработку на отказ определяли в штуках рулонов сена, убранных с поля погрузчиком-транспортёрщиком рулонов сена.

Распределение наработки на отказ рассматриваемых систем погрузчика-транспортёрщика представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Статистические данные по наработкам на отказ систем погрузчика-транспортёрщика рулонов сена при суммарной наработке до 6000 штук рулонов сена
Table 3 – Statistical data on the operating time for failure of the systems of the loader-transporter of hay rolls with a total operating time of up to 6,000 pieces of hay rolls

Система / System	Нарботка на отказ, шт. / Time to failure, pcs.						
Шасси / Chassis	380	251	548	152	260	221	303
	148	288	425	428	333	264	524
	175	408	294	271	-	-	-
Оборудование захвата и подъема рулонов / Equipment for grabbing and lifting rolls	291	441	317	268	261	252	264
	312	174	260	200	444	167	223
	195	229	474	350	271	176	-
Гидросистема с приводами захвата и подъема рулонов / Hydraulic system with drives for grabbing and lifting rolls	326	252	884	674	820	458	281
	679	493	780	-	-	-	-

В процессе экспериментальных исследований зафиксировано 48 отказов двух погрузчиков-транспортёрщиков рулонов сена при использовании их до суммарной наработки 6000 штук рулонов сена.

Определено, что средняя наработка на отказ шасси составила 315 шт., оборудования захвата и подъема рулонов 278 шт. и гидросистемы с приводами захвата и подъема рулонов 565 шт., а погрузчика-транспортёрщика рулонов сена в целом 352 шт.

Для дальнейших расчетов по зависимости (3) получили, что $n_j = 6$.

В таблице 4 представлены результаты расчета плотности распределения $f_{\phi}(N_{oi})$ и вероятности безотказной работы $P_{\phi}(N_{oi})$ по статистическим данным и теоретической плотности распределения $f_T(N_{oi})$.

Таблица 4 – Результаты расчета плотности распределения и вероятности безотказной работы погрузчика-транспортировщика рулонов сена

Table 4 – Results of calculation of distribution density and probability of trouble-free operation of the loader-transporter of hay rolls

Интервал наработки, шт. / Operating time interval, pcs.	m_i	Σm_i	N_{oi}	$f_{\phi}(N_{oi}) 10^{-3}$	$P_{\phi}(N_{oi})$	$f_T(N_{oi}) 10^{-3}$
0 – 1000	6	6	500	0.118	0.882	0,026
1001 – 2000	12	18	1500	0.275	0.608	0,230
2001 – 3000	10	28	2500	0.235	0.373	0,255
3001 – 4000	8	36	3500	0.157	0.216	0,184
4001 – 5000	6	42	4500	0.090	0.098	0,109
5001 – 6000	5	47	5500	0.075	-	0,058

По данным таблицы 4 построены зависимости фактической $f_{\phi}(N_{oi})$ и теоретической $f_T(N_{oi})$ плотности распределения (рисунок 5).

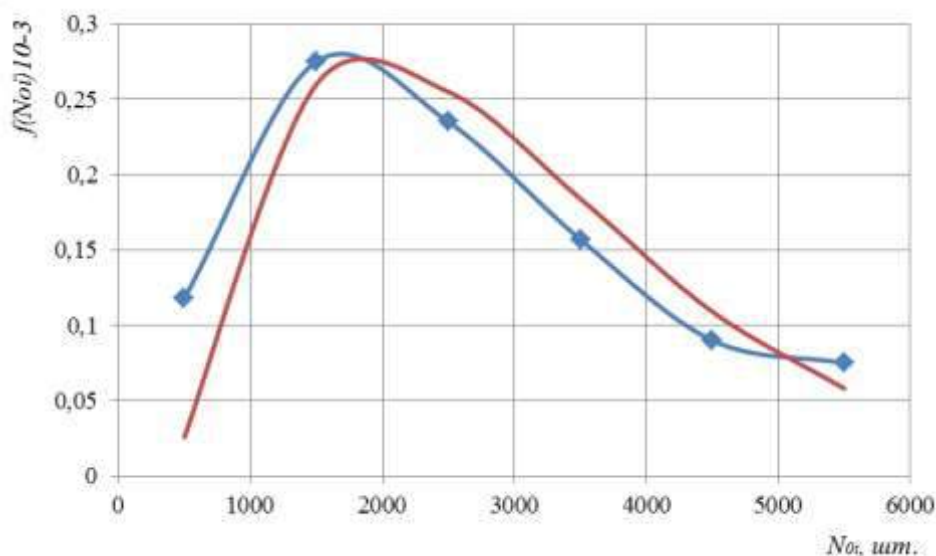


Рисунок 5 – Кривые фактической и теоретической плотности распределения наработки на отказ
Figure 5 – Curves of actual and theoretical time-to-failure distribution density

Проверку гипотезы о теоретическом законе распределения проводили по критерию χ^2 . По расчетам $\Sigma \chi^2 = 5,631$. Тогда при числе степеней свободы, $r = 3$ вероятность совпадения теоретического закона с экспериментальными данными $P(\chi^2) = 0,15$.

Для логарифмически-нормального закона теоретические значения плотности распределения определяются по зависимости:

$$f(W_0) = \begin{cases} \frac{1}{W_0 b \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln W_0 - a)^2}{2b^2}} & , W_0 \geq 0, b > 0, -\infty < a < +\infty \\ 0 & , W_0 < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Параметры выбранного закона распределения теоретических значений плотности распределения оцениваются методом максимального правдоподобия:

$$\hat{a} = \frac{1}{n} \sum_1^n \ln W_{oi},$$

$$\hat{b} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (\ln W_{oi} - \frac{1}{n} \sum_1^n (\ln W_{oi}))^2}. \quad (5)$$

Определено, что $\hat{a} = 5,4$ и $\hat{b} = 0,57$.

В случае определения законов распределения наработки на отказ выбранных систем погрузчика-транспортровщика рулонов сена с учетом их последовательного соединения (с точки зрения надежности) вероятность безотказной работы агрегата может быть рассчитана по зависимости:

$$P(t) = \sum_1^K P_i(t). \quad (6)$$

В этом случае $P(t)$ погрузчика-транспортровщика рулонов сена будет представлять композицию законов распределения трех его систем, которые могут быть как одинаковыми, так и различными.

Выводы. По экспериментальным данным, полученным в результате хронометража двух экспериментальных погрузчиков-транспортровщиков рулонов сена в течение четырех уборочных сезонов, определено, что количество рулонов сена, доставленных к месту хранения одним агрегатом в течение одной смены работы, варьировалось от 40 до 69 штук; количество рулонов сена, доставленных двумя погрузчиками-транспортровщиками к месту хранения за время исследований, составило 5978 штук; производительность погрузчика-транспортровщика рулонов сена за смену изменялась от 53,02 т·км до 92,50 т·км.

При суммарной наработке погрузчиков-транспортровщиков до 6000 штук рулонов сена средняя наработка на отказ шасси составила 315 шт., оборудования захвата и подъема рулонов 278 шт. и гидросистемы с приводами захвата и подъема рулонов 565 шт., а погрузчика-транспортровщика рулонов сена в целом 352 шт.

Conclusions. According to experimental data obtained from the timekeeping of two experimental loaders-transporters of hay rolls during four harvesting seasons, it was determined that the number of hay rolls delivered to the place of storage by one unit during one shift of work ranged from 40 to 69 pieces; the number of hay rolls delivered by two transport loaders to the place of storage during the studies amounted to 5978 pieces; the capacity of the loader-transporter of hay rolls per shift varied from 53.02 t·km to 92.50 t·km.

With a total operating time of loaders-transporters up to 6,000 pieces of hay rolls, the average time between failures of the chassis was 315 pcs., equipment for gripping and lifting rolls 278 pcs. And a hydraulic system with drives for gripping and lifting rolls 565 pcs., and a loader-transporter of hay rolls as a whole 352 pcs.

Библиографический список

1. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерное приложение. М.: Наука, 1988. 480 с.
2. Габаев А. Х. Надежность и безотказность работы модернизированного сошника зерновой сеялки с фторопластовыми бороздообразующими накладками. Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. 2019. № 4 (26). С. 54-58.
3. Грибенченко А. В., Ряднов А. В., Гапич Д. С., Моторин В. А. Характеристика показателей надёжности работы деталей машин сельскохозяйственного назначения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 507-515.

4. Картошкин А. П., Валге А. М., Соловьев Я. С. Влияние надежности машин на риски потерь кормов при заготовке силоса из трав. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (67). С. 175-183.
5. Лебедев А. Т., Серегин А. А., Арженовский А. Г. Повышение эффективности функционирования машин и оборудования АПК управлением надежностью их систем. Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2 (46). С. 4-11.
6. Надежность и эффективность в технике: справочник. Эффективность технических систем. М.: Машиностроение, 1986. Т. 3. 328 с.
7. Попов В. Д., Картошкин А. П., Соловьев Я. С. Оценка рисков технологического процесса заготовки кормов из трав по показателю надежности машин. Известия Международной академии аграрного образования. 2020. № 49 (6). С. 50-56.
8. Ряднов А. И., Фандеев С. Ю. Выбор высокоэффективной технологии уборки рулонов сена из суданской травы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 370-380.
9. Ряднов А. И., Федоров А. В. Повышение надежности прицепа-зерновоза и расширение возможностей его использования. Известия НВ АУК. 2022. № 1 (65). С. 442-451.
10. Трухачев В. И., Орлянский А. В., Орлянская И. А. Обоснование рациональных параметров процесса заготовки сенажа в рулонах с использованием имитационного моделирования: монография. Ставрополь: АГРУС, 2018. 176 с.
11. Царев Ю. А., Адамчукова Е. Ю., Белоусов С. В., Мельников Д. Г. Сервисная книжка или как повысить надежность сложной сельскохозяйственной техники. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 161. С. 290-297.
12. Царев Ю. А., Царев О. Ю. Метод повышения эксплуатационной надежности сложных сельскохозяйственных машин. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 189. С. 153-163.
13. Царев Ю. А., Царев О. Ю. О нормировании показателей надежности деталей и сборочных единиц сложных сельскохозяйственных машин. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 184. С. 260-266.
14. Sinéad Devaney Silage Analysis – Why it's important and what it all means. Teagasc Adviser. Galway/Clare Regional Unit. <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2015/Silage-analysis.pdf>.

References

1. Venzel E. S., Ovcharov L. A. Probability theory and its engineering application. Moscow: Nauka, 1988. 480 p.
2. Gabaev A. H. Reliability and trouble-free operation of the modernized coulter of a grain seeder with fluoroplastic furrowing pads. Proceedings of Kabardino–Balkarian State University. 2019. No 4 (26). Pp. 54-58.
3. Gribenchenko A. V., Ryadnov A. V., Gapich D. S., Motorin V. A. Characteristics of indicators of reliability of work of agricultural machinery parts. Proceedings of NV AUK. 2023. No 2 (70). Pp. 507-515.
4. Kartoshkin A. P., Valge A. M., Solovyov Ya. S. The influence of machine reliability on the risks of feed losses when harvesting silage from grasses. Proceedings of St. Petersburg State Agrarian University. 2022. No 2 (67). Pp. 175-183.
5. Lebedev A. T., Seregin A. A., Arzhenovsky A. G. improving the efficiency of the functioning of agricultural machinery and equipment by managing the reliability of their systems. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2019. No 2 (46). Pp. 4-11.
6. Reliability and efficiency in technology: Handbook. Efficiency of technical systems. 1986. V. 3. 328 p.

7. Popov V. D., Kartoshkin A. P., Solovyov Ya. S. Risk assessment of the technological process of harvesting forage from grasses according to the reliability of machines. Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2020. No 49 (6). Pp. 50-56.
8. Ryadnov A. I., Fandeev S. Yu. The choice of a highly efficient technology for harvesting hay rolls from Sudanese grass. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversitetskiy complex: Science and higher professional education. 2022. No 1 (65). Pp. 370-380.
9. Ryadnov A. I., Fedorov A. V. Improving the reliability of the grain carrier trailer and expanding the possibilities of its use. Proceedings of NV AUK. 2022. No 1 (65). Pp. 442-451.
10. Trukhachev V. I., Orlyansky A. V., Orlyanskaya I. A. Substantiation of the rational parameters of the haylage harvesting process in rolls using simulation modeling: monograph. Stavropol: AGRUS, 2018. 176 p.
11. Tsarev Yu. A., Adamchukova E. Y., Belousov S. V., Melnikov D. G. Service book or how to increase the reliability of complex agricultural machinery. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2020. No 161. Pp. 290-297.
12. Tsarev Yu. A., Tsarev O. Yu. Method of improving the operational reliability of complex agricultural machines. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2023. No 189. Pp. 153-163.
13. Tsarev Yu. A., Tsarev O. Yu. On rationing reliability indicators of parts and assembly units of complex agricultural machines. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2022. No 184. Pp. 260-266.
14. Sinéad Devaney Silage Analysis – Why it's important and what it all means. Teagasc Adviser. Galway/Clare Regional Unit. <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2015/Silage-analysis.pdf>.

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, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Любимов Роман Вячеславович, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2796-9321>, e-mail: luybimov95@mail.ru

Федоров Алексей Валерьевич, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>, e-mail: alex_fedorow_97@mail.ru

Воронин Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, г. Элиста, ул. Пушкина, д. 11), e-mail: s.voronin-l@yandex.ru

Author's Information

Ryadnov Alexey 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), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Lyubimov Roman Vyacheslavovich, 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/0000-0003-2796-9321>, e-mail: luybimov95@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

Voronin Sergei Mikhailovich, Doctor of technical sciences, professor of Kalmyk State University (Russian Federation, Elista, ul. Pushkina, 11), e-mail: s.voroninl@yandex.ru

THE EFFICIENCY OF PRECISION FARMING SYSTEM APPLICATION IN PRE-SOWING TILLAGE

V. A. Smelik¹, S. D. Fomin², A. M. Zakharov³, A. N. Perekopskiy³

¹*Saint-Petersburg State Agrarian University
St. Petersburg, Russian Federation*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

³*Federal Scientific Agroengineering Center VIM – branch in Saint Petersburg
St. Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: smelik_va@mail.ru

Received 23.10.2023

Submitted 24.11.2023

Summary

The main direction of intensification of agricultural production should be resource conservation and technological modernization, including through the use of "precision farming" while minimizing the impact on ecosystems and the environment.

Abstract

Introduction. The main direction of intensification of agricultural production should be resource conservation and technological modernization, including through the use of "precision farming" while minimizing the impact on ecosystems and the environment. It has been revealed that there are prerequisites for this, there are enterprises where elements of precision farming have been introduced. The analysis of the sowing campaign on a specific example of an enterprise for preparing the soil for sowing grain crops revealed factors affecting the productivity of aggregates and additional costs. Prerequisites for the introduction of precision farming elements in tillage before sowing grain crops were: a large overlap in the aisles of the units, work on the incomplete width of the tools, curved movement of the units across the field, incorrect rotation scheme of the unit with manual control. **The purpose** of the study is to identify the need for the introduction of precision farming elements during pre-sowing tillage for sowing grain crops in the North-Western region of Russia, to identify factors and shortcomings in the technology of soil preparation before sowing grain crops with a "manual control" unit on the example of an agricultural organization characteristic of the above conditions; to give options for the use of TK elements in the technology of preparation soils before sowing grain crops. **Materials and methods.** The study is based on the analysis and generalization of conclusions and theoretical approaches in the materials of the Center for Forecasting and Monitoring of the Kuban State Agrarian University and a specific agricultural producer from the Leningrad region. A relatively large, fairly well-equipped agricultural enterprise in the southern part of the Leningrad region was selected for research. Units that participated in the research for pre-sowing tillage: tractor JD6195M + disc harrow Lemken Rubin 9/500 KAU (2 units); tractor RSM2375 + disc harrow Farnet Softer 8 PS. **Results and conclusions.** The options for installing and using an automatic control system with an accuracy of 2.5 and 15 cm control units are proposed, which will ensure the absence or minimize the negative factors of "manual control". In a concrete example, fuel overspending on preparing the soil for sowing grain crops in monetary terms is 234200 rubles with manual control of the units, and with a 2.5 cm control accuracy system and an RTK station will amount to 4400 rubles.

Key words: *precision agriculture, automatic control systems, pre-sowing tillage.*

Citation. Smelik V. A., Fomin S. D., Zakharov A. M., Perekopskiy A. N. The efficiency of precision farming system application in pre-sowing tillage. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 441-449 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-44.

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

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

УДК 631.15

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ
ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ****В. А. Смелик**¹, доктор технических наук**С. Д. Фомин**², доктор технических наук**А. М. Захаров**³, кандидат технических наук**А. Н. Перекопский**³, кандидат технических наук¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²Волгоградский государственный аграрный университет
г. Волгоград, Российская Федерация³Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства –
филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Актуальность. Основным направлением интенсификации сельскохозяйственного производства должно стать ресурсосбережение и технологическая модернизация, в том числе на основе использования «точного земледелия» при минимизации воздействия на экосистемы и окружающую среду. Выявлено, что предпосылки для этого имеются, есть предприятия, где внедрены элементы точного земледелия. Анализ посевной кампании на конкретном примере предприятия по подготовке почвы к посеву зерновых культур выявил факторы, влияющие на производительность агрегатов и дополнительные затраты. Предпосылками внедрения элементов точного земледелия при обработке почвы перед посевом зерновых культур стали: большое перекрытие на проходах агрегатов, работа на неполную ширину захвата орудий, криволинейное движение агрегатов по полю, неправильная схема разворота агрегата при ручном управлении. **Цель исследования** – выявить необходимость внедрения элементов точного земледелия при предпосевной обработке почвы для посева зерновых культур в Северо-Западном регионе России, выявить факторы и недостатки в технологии подготовки почвы перед посевом зерновых культур с «ручным управлением» агрегатом на примере сельскохозяйственной организации, характерной для приведенных условий; привести варианты использования элементов ТЗ в технологии подготовки почвы перед посевом зерновых культур. **Материалы и методы.** Исследование основано на анализе и обобщении выводов и теоретических подходов в материалах Центра прогнозирования и мониторинга Кубанского государственного аграрного университета и конкретного сельхозпроизводителя из Ленинградской области. Для исследований выбрано сравнительно крупное, достаточно хорошо оснащенное техническими средствами сельскохозяйственное предприятие в южной части Ленинградской области. Агрегаты, которые участвовали в исследованиях для предпосевной обработки почвы: трактор JD6195M + дисковая борона Lemken Rubin 9/500 KAU (2 агрегата); трактор RSM2375 + дисковая борона Farmet Softer 8 PS. **Результаты и выводы.** Предложены варианты установки и использования автоматической системы управления с точностью управления агрегатами 2,5 и 15 см, что обеспечит отсутствие или сведет к минимуму отрицательные факторы «ручного управления». В конкретном примере перерасход топлива на подготовке почвы для посева зерновых культур в денежном выражении составляет 234200 рублей при ручном управлении агрегатами, а с системой точности управления 2,5 см и станцией RTK составит 4400 рублей.

Ключевые слова: точное земледелие, автоматические системы управления, предпосевная обработка почвы.

Цитирование. Смелик В. А., Фомин С. Д., Захаров А. М., Перекопский А. Н. Эффективность применения системы точного земледелия при предпосевной обработке почвы. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 441-449. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-44.

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 настоящее время сельскохозяйственная отрасль, и в частности растениеводство, испытывает дефицит высококвалифицированных механизаторов, производительной техники, качественных сельскохозяйственных машин и др. Основным направлением интенсификации сельского хозяйства Северо-Западного региона РФ должно стать ресурсосбережение и технологическая модернизация, в том числе за счет использования точного земледелия (ТЗ) [1, 2].

Для внедрения системы ТЗ у товаропроизводителя на первом этапе надо провести комплексную оценку хозяйства, которая включает в себя агротехнический, технологический, экономический и почвенно-климатический анализ. Например, в Вологодской области ни в одном сельскохозяйственном предприятии такая комплексная оценка не была проведена. Для внедрения технологии ТЗ требуется взвешенный экономический подход [3, 4]. Внедрять все сразу – дорого и экономически нецелесообразно, внедрение должно осуществляться поэтапно, при этом следует просчитывать каждый этап отдельно.

Количество хозяйств, использующих элементы ТЗ, в регионах России приводятся в [5] за 2019 год, в том числе и по Северо-Западному региону (таблица 1).

Таблица 1 – Хозяйства, использующие элементы точного земледелия, в Северо-Западном регионе (2019) [5].

Table 1 – Farms using precision farming elements in the North-Western region (2019) [5].

Область	Количество хозяйств	Площадь земель, га	Оцифровано полей	Параллельное вождение	Дифференцированный посев
Архангельская	11	23593	1		8
Вологодская	45	161651	5	11	8
Ленинградская	16	27958	5	6	3
Псковская	17	50079	2	1	6

Лидером по всем приведенным показателям является Вологодская область. Например, в южных регионах России эти показатели в 10 раз выше. Элементы точного земледелия отсутствуют в Новгородской области и в Республике Карелия.

Владельцы агропромышленных предприятий, технологи, агрономы и экономисты скептически относятся к технологиям ТЗ в отношении преимуществ в экономическом аспекте (35 %), в первую очередь в начале внедрения [6-8].

Цель исследования – выявить необходимость внедрения элементов точного земледелия при предпосевной обработке почвы для посева зерновых культур в Северо-Западном регионе России.

Задачи исследований: провести анализ литературы на предмет использования элементов ТЗ в сельскохозяйственных организациях Северо-Западного региона; выявить факторы и недостатки в технологии подготовки почвы перед посевом зерновых культур с «ручным управлением» агрегатом на примере сельскохозяйственной организации, характерной для приведенных условий; привести варианты использования элементов ТЗ в технологии подготовки почвы перед посевом зерновых культур.

Материалы и методы. Исследование основано на анализе и обобщении выводов и теоретических подходов, имеющих в научной литературе, а также на материалах Центра прогнозирования и мониторинга Кубанского государственного аграрного университета и конкретного сельхозпроизводителя из Ленинградской области [1, 5, 9, 10].

Для исследований выбрано сравнительно крупное, достаточно хорошо оснащенное техническими средствами сельскохозяйственное предприятие в южной части Ленинградской области.

Посевная площадь, занятая под зерновыми культурами, составляет, 1450 га, в том числе яровые культуры – 900 га, озимые культуры – 550 га.

Агрегаты, которые участвовали в исследованиях для предпосевной обработки почвы:

- трактор JD6195M + дисковая борона Lemken Rubin 9/500 KAU (2 агрегата);
- трактор RSM2375 + дисковая борона Farmet Softer 8 PS.

В исследовании использовались инструменты, перечисленные в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень инструментов, использованных в исследовании

Table 2 – List of tools used in the study

№пп	Наименование приборов	Пределы и точность измерений прибора
1	Метеостанция Davis Vantage Pro2 с датчиками влажности почвы Sentek Drill & Drop 900 мм	Диапазон температур от -40 °С до 65 °С, точность измерения температуры $\pm 0,5$ °С; диапазон выпадения осадков от 0 до 6553 мм, точность выпадения осадков – более 4%.
2	Линейка измерительная металлическая 500 мм ГОСТ 427-75	0-500 мм, $\pm 0,5$ мм
3	Стальная измерительная рулетка	0-10 м

Предварительный анализ весенней посевной кампании выявил факторы, влияющие на производительность агрегатов, дополнительные затраты на топливо, время на гектар площади из-за следующих причин:

- a. Большое перекрытие на примыкающих проходах.
- b. Работа на неполную ширину захвата.
- c. Криволинейное движение агрегатов по полю.
- d. Схема разворота в конце гона с помощью приема «восьмерка».
- e. Организация движения по полю.

Рассмотрим перечисленные причины более подробно.

Результаты исследований. Перечисленные причины: (a) – большое перекрытие на примыкающих проходах и (b) – работа на неполную ширину захвата, можно определить экспериментально.

При обработке почвы под яровые зерновые культуры агрегатами на площади 900 га площадь, обработанная дважды, составила 169 га или 18%:

- тракторы JD6195M + дисковая борона Lemken Rubin 500 KAU (конструктивная ширина захвата 5 м). Двойное перекрытие составляло от 60 до 100 см. Эффективная ширина захвата – 4,4 – 4,0 м (рисунок 1);

- трактор RSM2375 + дисковая борона Farmet Softer 8 PS (конструктивная ширина захвата 7,65 м). Двойное перекрытие составляло от 80 до 120 см. Эффективная ширина захвата – 6,85-6,45 м.

Перерасход затрат на предпосевную обработку почвы 900 га при ручном и автоматизированном управлении «Autopilot» агрегатами представлен в табл.3. Стоимость топлива составляет 63 руб/л, расход топлива – 22 л/га.

Из таблицы 3 видно, что при точности вождения с «Autopilot» 15 см перерасход затрат составит 62400 рублей, а с точностью 2-3 см – 4400 рублей в отличие от ручного управления – 234200 рублей.

Рассмотрим пункт (c) предыдущего раздела – Криволинейное движение агрегатов по полю. Эту величину трудно рассчитать в цифровом выражении, но следует отметить следующее:

- увеличенная длина пути, пройденная агрегатом;
- дополнительные затраты мощности в трансмиссии трактора;
- физическая нагрузка на механизатора за счёт поворота рулевого колеса.

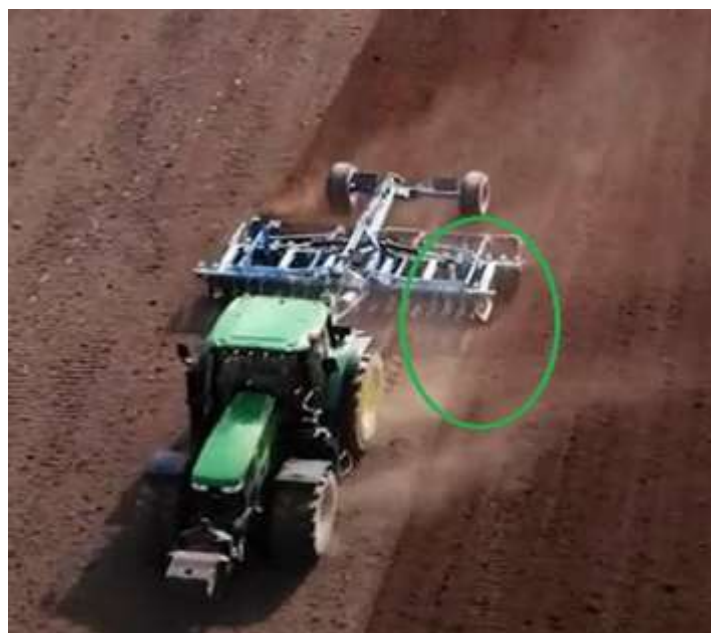


Рисунок 1 – Площадь, обработанная дважды агрегатами JD6195M + Lemken Rubin 500 KAU и RSM2375 + Farnet Softer 8 PS

Figure 1 – Platform processed by two programmers JD6195M + Lemken Rubin 500 KAY and RSM2375 + Softer8 PS format

Таблица 3 – Данные по дополнительным затратам топлива на предпосевную обработку почвы при ручном и автоматическом управлении

Table 3 – Data on additional fuel costs for pre-sowing tillage with manual and automatic control

Затраты	Ручное управление	«Autopilot» с точностью 15 см	«Autopilot» с точностью 2-3 см
Площадь, обработанная дважды, га	169,0	45,0	3,2
Затраченные средства на топливо, тыс. руб.	234,2	62,4	4,4

Рассмотрим пункты (d) и (e) предыдущего раздела – Схема разворота в конце гона с помощью приема «восьмерка», организация движения по полю. Автоматический разворот позволяет трактору с установленной системой «Autopilot» рассчитать наиболее оптимальный маршрут разворота и выхода на следующий проход.

Представим несколько технических и технологических решений для комплектования одного сельскохозяйственного агрегата элементами точного земледелия, как минимум для автоматического вождения на поле. Необходимо отметить, что телефонная связь и интернет в большинстве сельскохозяйственных предприятий плохо работает вдали от крупных автомобильных дорог.

Приходится надеяться на использование спутниковой связи. Вот несколько вариантов использования: Trimble RP RTX с точностью 15 см – 65000 рублей в год, Trimble CP RTX с точностью 2-3 см – 120000 рублей в год; JD SF3 с точностью 2-3 см – 20000 рублей в месяц. Эти цены были в начале 2022 года. Провайдеры России предлагают также некоторые решения: NTRIP на один месяц за 4800 рублей, EFT Cons. – 40000 рублей за год.

Главным образом техническая система, устанавливаемая на трактор, состоит из дисплея, антенны, датчиков и подруливающего устройства. Например, система Trimble GFX-750 стоит 1,6 млн рублей, система FJD стоит 500000 рублей и станция RTK – 500000 рублей для достижения точности 2,5 см на дальность 15 км.

В конце 2022 и в 2023 году предлагаются другие решения, основанные на российских и китайских технических и технологических решениях [11, 12]. Например, Shanghai AllyNav Technology предлагает автоматическую систему управления AF-305 по цене от 500000 рублей. Важно отметить, что система использует новейший NSS-приёмник со встроенным гироскопом и радиомодемом вместо двойной GNSS-антенны. Базовая станция RTK AllyNav с радиусом до 30 км стоит 350000 рублей. Приобретение станции необходимо в одном или двух экземплярах.

Возвращаясь к нашему варианту проведения предпосевной обработки почвы под зерновые культуры необходимо, как минимум, три единицы системы, станцию RTK, оплату связи трех единиц техники на месяц (обычно оплачивается весь год для отслеживания нахождения техники и выполнения других работ по посеву культур, кошению трав, внесению удобрений). Монтаж и техническое сопровождение названных систем требует специалиста и обучения персонала. По предложению дилеров такой комплекс услуг обойдется для предприятия в 2,3 млн рублей. Дополнительно каждый год необходимо платить за связь и обслуживание трех единиц системы в размере 180000 рублей.

Как мы уже выяснили, перерасход топлива составляет 234200 рублей при ручном управлении агрегатами, а с системой точности управления 2,5 см и станцией RTK составит 4400 рублей. Окупаемость «Autopilot» (automatic control system) на весенней предпосевной обработке почвы под зерновые культуры составит десять лет. Стоит отметить, что системы могут использоваться и на других сельскохозяйственных работах (посев, кошение, внесение удобрений) [13-15].

Заключение. Анализ литературных источников и опрос технологов растениеводства, агрономов и экономистов показал, что они осторожно относятся к внедрению ТЗ по экономическим показателям, как минимум в начале внедрения. Необходимо повышение информированности специалистов хозяйств (владелец предприятия, исполнительный директор, агрономы, инженеры, механизаторы) на конкретных примерах использования ТЗ.

Анализ технологических процессов подготовки почвы выявил факторы, влияющие на производительность агрегатов и дополнительные затраты на топливо по следующим причинам: большое перекрытие на примыкающих проходах при обработке почвы до 120 см; работа на неполную ширину захвата агрегата; криволинейное движение агрегатов по полю; схема разворота в конце гона нерациональная.

Предложены варианты установки и использования автоматической системы управления с точностью управления агрегатами 2,5 и 15 см, что обеспечит отсутствие или сведет к минимуму отрицательные факторы «ручного управления». В конкретном примере перерасход топ-

лива на подготовке почвы для посева зерновых культур в денежном выражении составляет 234200 рублей при ручном управлении агрегатами, а с системой точности управления 2,5 см и станцией RTK составит 4400 рублей.

Conclusions. An analysis of literature sources and a survey of crop technologists, agronomists and economists showed that they are cautious about the implementation of SOWs in terms of economic indicators, at least at the beginning of implementation. It is necessary to increase the awareness of farm specialists (enterprise owner, executive director, agronomists, engineers, machine operators) on specific examples of the use of TA.

Analysis of the technological processes of soil preparation revealed factors affecting the productivity of the units and additional fuel costs for the following reasons: a large overlap on adjacent passages during soil cultivation up to 120 cm; operation for incomplete width of the unit grip; curvilinear movement of aggregates along the field; the scheme of turning at the end of the rut is irrational.

Versions of installation and use of automatic control system with control accuracy of units 2.5 and 15 cm are proposed, which will ensure absence or minimize negative factors of "manual control." In a specific example, fuel overspend on soil preparation for sowing grain crops in monetary terms is 234,200 rubles with manual control of units, and with a 2.5 cm control accuracy system and RTK station it will be 4400 rubles.

Библиографический список

1. Рудой Е. В., Петухова М. С., Рюмкин С. В., Труфляк Е. В., Курченко Н. Ю. Научно-обоснованный прогноз развития точного земледелия в России. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. 138 с.
2. Лагун А. А., Шилова И. Н. Предпосылки и экономическая эффективность внедрения системы точного земледелия в сельскохозяйственных предприятиях Вологодской области. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (57). С. 217-226.
3. Смелик В. А., Теплинский И. З., Поликарпов М. Н., Смелик О. В., Врублевский В. Д. Технологические и программные средства управления технологическими машинами в растениеводстве в системах точного земледелия. Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем. Москва, 2012. С. 700-704.
4. Лагун А. А., Шилова И. Н. Экономическое обоснование и необходимость внедрения системы точного земледелия в сельскохозяйственных предприятиях Вологодской области. Journal of Economy and Business. 2019. Т. 7. С. 90-96.
5. Труфляк Е. В. Рейтинг регионов по использованию элементов точного сельского хозяйства. Краснодар: КубГАУ, 2020. 37 с.
6. Смелик В. А., Цыганова Н. А., Теплинский И. З. Внесение минеральных удобрений в точном земледелии. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 3. С. 38-40.
7. Завиваев Н. С., Якимова О. Ю., Мансуров А. П. Кластерный анализ эффективности использования элементов точного сельского хозяйства. Вестник НГИЭИ. 2021. № 12 (127). С. 82-94.
8. Murdoch A. J., Todman L., et al. Predicting the probability that higher profits could be achieved by adopting PA. Precision agriculture'21. 2021. P. 984.
9. Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеев Д. А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии. Земледелие. 2020. № 1. С. 33-37.
10. Смелик В. А., Цыганова Н. А., Теплинский И. З. Дифференцированное внесение минеральных удобрений в точном земледелии. Вестник МГАУ имени В. П. Горячкина. 2015. № 3 (67). С. 7-10.
11. Automatic control system AF-305. <https://поле.рф/agricultural-products/214/c4d9d4b4-f353-4b27-993e-4baf324ed69b>.
12. Navigation system FJ Dynamics. <https://поле.рф/agricultural-products/214/17dc45ee-76fb-443a-b02f-fe46aa023a49>.
13. Rakun J., Rihter E., Kelc D., Denis S., Vindiš P., Berk P., et al. Possibilities and concerns of implementing precision agriculture technologies on small farms in Slovenia. Int J Agric & Biol Eng. 2022. № 15 (3). Pp. 16-21.

14. Hundal G., Laux C., Buckmaster D., Sutton M., Langemeier M. Exploring Barriers to the Adoption of Internet of Things-Based Precision Agriculture Practices. *Agriculture*. 2023. № 13. 163 p.

15. Сутугина И. М., Смелик В. А. Информационное обеспечение кадастра недвижимости и точного земледелия по материалам аэрофотосъемки. Санкт-Петербург, 2016. 198 с.

References

1. Rudoy E. V., Petukhova M. S., Ryumkin S. V., Truflyak E. V., Kurchenko N. Y. Scientifically substantiated forecast of the development of precision agriculture in Russia. Novosibirsk: IC NGAU "Golden Ear," 2021. 138 p.

2. Lagun A. A., Shilova I. N. Background and economic efficiency of the introduction of the precision farming system in agricultural enterprises of the Vologda region. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*. 2018. № 2 (57). Pp. 217-226.

3. Smelik V. A., Teplinsky I. Z., Polikarpov M. N., Smelik O. V., Vrublevsky V. D. Technological and software tools for controlling technological machines in crop production in precision farming systems. *Modernization of agricultural production based on innovative machine technologies and automated systems*. Moscow, 2012. Pp. 700-704.

4. Lagoon A. A., Shilova I. N. Economic justification and the need to introduce a system of precision agriculture in agricultural enterprises of the Vologda region. *Journal of Economy and Business*. 2019. V. 7. Pp. 90-96.

5. Truflyak E.V. Rating of regions on the use of elements of accurate agriculture. Krasnodar: KubGAU, 2020. 37 p.

6. Smelik V. A., Tsyganova N. A., Teplinsky I. Z. Application of mineral fertilizers in accurate agriculture. *Agricultural machinery and technology*. 2012. № 3. Pp. 38-40.

7. Zavivaev N. S., Yakimova O. Yu., Mansurov A. P. Cluster analysis of the effectiveness of using elements of accurate agriculture. *NGIEI Bulletin*. 2021. № 12 (127). Pp. 82-94.

8. Murdoch A. J., Todman L., et al. Predicting the probability that higher profits could be achieved by adopting PA. *Precision agriculture'21*. 2021. P. 984.

9. Yakushev V. P., Yakushev V. V., Matveenkov D. A. Intelligent systems for supporting technological solutions in accurate agriculture. *Agriculture*. 2020. № 1. Pp. 33-37.

10. Smelik V. A., Tsyganova N. A., Teplinsky I. Z. Differentiated application of mineral fertilizers in accurate agriculture. *Bulletin of the Moscow State Autonomous University named after V.P. Goryachkin*. 2015. № 3 (67). Pp. 7-10.

11. Automatic control system AF-305. <https://поле.рф/agricultural-products/214/c4d9d4b4-f353-4b27-993e-4baf324ed69b>.

12. Navigation system FJ Dynamics. <https://поле.рф/agricultural-products/214/17dc45ee-76fb-443a-b02f-fe46aa023a49>.

13. Rakun J., Rihter E., Kelc D., Denis S., Vindiš P., Berk P., et al. Possibilities and concerns of implementing precision agriculture technologies on small farms in Slovenia. *Int J Agric & Biol Eng*. 2022. № 15 (3). Pp. 16–21.

14. Hundal G., Laux C., Buckmaster D., Sutton M., Langemeier M. Exploring Barriers to the Adoption of Internet of Things-Based Precision Agriculture Practices. *Agriculture*. 2023. № 13. 163 p.

15. Sutugina I. M., Smelik V. A. Information support of the real estate cadastre and precision agriculture based on aerial photography materials. St. Petersburg, 2016. 198 p.

Информация об авторах

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: smelik_va@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика», заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Захаров Антон Михайлович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Агротехнологии в растениеводстве», институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское шоссе, д. 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3501-0543>, e-mail: bauermw@mail.ru

Перекопский Александр Николаевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Агротехнологии в растениеводстве», институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское шоссе, д. 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0998-2306>, e-mail: aperekopskii@mail.ru

Author's Information

Smelik Viktor Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, "St. Petersburg State Agrarian University" (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe sh., 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: smelik_va@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Zakharov Anton Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher of the Department "Agrotechnologies in Crop Production", Federal Scientific Agroengineering Center VIM – branch in Saint Petersburg (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, p. Tyarlevo, Filtrovskoye sh., 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3501-0543>, e-mail: bauermw@mail.ru

Perekopskiy Aleksander Nikolaevich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher of the Department "Agrotechnologies in Crop Production", Federal Scientific Agroengineering Center VIM – branch in Saint Petersburg (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, p. Tyarlevo, Filtrovskoye sh., 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0998-2306>, e-mail: aperekopskii@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-45

ANALYSIS OF NATURAL CONDITIONS AND THE CURRENT STATE OF THE PORTALS OF THE TUNNEL OF THE DON MAIN CANAL

A. A. Tkachev, N. A. Shelestova, S. Yu. Pazynych, K. I. Klyuchenko

*Novocherkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov –
branch of the Don State Agrarian University
Novocherkassk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Received 05.07.2023

Submitted 30.09.2023

Summary

The article presents the results of the natural installation of complex threads of the tunnel of the Don main canal in the Rostov region. For the area under consideration, an analysis of the landscape, geomorphological, climatic conditions, factors, the most likely potential objects affecting the safety of the object was carried out. It is recommended to develop and implement observations on the management and maintenance of facilities, which can lead to self-established regular schedules for inspections, maintenance and repair work, as well as the establishment of a monitoring system for the condition of the three sensor strings to check for verification and application problems.

Abstract

Introduction. The paper analyzes the natural conditions and the results of field surveys of the construction of the northern portal of the tunnel at PK 306+60 and the construction of the southern portal of the tunnel at PK 367+40. It has been established that the supply of water to the Don main canal during the

irrigation period increases the level of groundwater in the survey area and causes processes that increase the secondary salinization of the adjacent territory. **Object.** The tunnel is located on the section from PK 306 + 60 to PK 367 + 40 of the Don main canal on the watershed of the Don and Sala rivers, consists of three lines and is designed to pass the main canal flow into its tunnel part. The inner diameter of each thread of the tunnel is 5.2m. At the entrance to the tunnel is the North portal, at the exit – the South. **Materials and methods.** The conditions for the location of the research site are considered. The analysis of geomorphological conditions is carried out, the factors determining the climate of the region are considered. The geological conditions that affect the behavior of groundwater in the survey area during filtration of water from an irrigation source are described in detail. Dangerous exogenous processes are indicated, the most probable are wind, rain, ice, which can reach dangerous values. **Results and conclusions.** As a result of the analysis of the survey, the categories of the technical condition of hydraulic structures and the level of their safety were specified. In the process of long-term operation, the reinforced concrete surfaces of the structure and metal structures have undergone significant wear and corrosion, some of the lifting equipment is missing, physically and morally obsolete, and their further operation can lead to an emergency. The inoperability of expansion joints was revealed. These defects make it possible to assess the condition of the structures as limited operable.

Key words: *Don main canal, reconstruction of hydraulic structures, hydraulic tunnels, tunnel portals, groundwater level.*

Citation. Tkachev A. A., Shelestova N. A., Pazynich S. Yu., Klochenko K. I. Analysis of natural conditions and the current state of the portals of the tunnel of the Don main canal. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 449-460 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-45.

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 627.8.064.3

АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРТАЛОВ ТОННЕЛЯ ДОНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

А. А. Ткачев, доктор технических наук

Н. А. Шелестова, кандидат технических наук

С. Ю. Пазынич, магистр

К. И. Ключенко, аспирант

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета
г. Новочеркасск, Российская Федерация*

Актуальность. В работе выполнен анализ природных условий и результатов натурных обследований сооружения северного портала тоннеля на ПК 306+60 и сооружения южного портала тоннеля на ПК 367+40. Установлено, что подача воды в Донской магистральный канал в оросительный период повышает уровень грунтовых вод в районе обследований и вызывает процессы, которые усиливают вторичное засоление прилегающей территории. Состояние сооружений оценивается как ограничено работоспособное и требующее ремонта. **Объект.** Тоннель расположен на участке от ПК 306+60 до ПК 367+40 Донского магистрального канала на водоразделе рек Дона и Сала, состоит из трех ниток и предназначен для пропуска расходов магистрального канала в его затоннельную часть. Внутренний диаметр каждой нитки тоннеля – 5.2м. При входе в тоннель расположен Северный портал, при выходе – Южный. Общая максимальная пропускная способность 165м³/с. **Материалы и методы.** Рассматриваются условия расположения площадки исследования. Выполнен анализ геоморфологических условий, рассмотрены факторы, определяющие климат района. Подробно описаны геологические условия, влияющие на поведение грунтовых вод в районе изысканий при фильтрации воды из источника орошения. Указывается на опасные экзогенные процессы, наиболее вероятными являются ве-

тер, дождь, гололед, которые могут достигать опасных значений. **Результаты и выводы.** В результате анализа проведенного обследования были уточнены категории технического состояния гидротехнических сооружений и уровень их безопасности. В процессе длительной эксплуатации железобетонные поверхности сооружения и металлические конструкции подверглись значительному износу и коррозии, часть грузоподъемного оборудования отсутствует, оборудование физически и морально устарело и его дальнейшая эксплуатация может привести к аварийной ситуации. Выявлена неработоспособность деформационных швов. Указанные дефекты позволяют оценить состояние сооружений как ограниченно работоспособное.

Ключевые слова: *Донской магистральный канал, реконструкция гидротехнических сооружений, гидротехнические тоннели, порталы тоннеля, уровень грунтовых вод.*

Цитирование. Ткачев А. А., Шелестова Н. А., Пазынич С. Ю., Ключенко К. И. Анализ природных условий и современное состояние порталов тоннеля Донского магистрального канала. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 449-460. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-45.

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. Донской магистральный канал (ДМК) предназначен для орошения и обводнения донской водой засушливых районов Ростовской области. Общая площадь орошения из ДМК составляет порядка 229,6 га, площадь обводнения – 300 тыс. га [1, 2].

ДМК начинается от Цимлянского водохранилища у левобережной части Цимлянской плотины (ПК 0) и проходит по междуречью Дон – Маныч на территории трех административных районов: Волгодонского, Мартыновского и Семикаракорского, заканчивается устьем на ПК 1122 в верховьях балки Садковской Веселовского водохранилища, имея общую длину 112,2 км. На ДМК возведены гидротехнические сооружения (ГТС) для регулирования расходов и горизонтов воды в канале [3].

Тоннель расположен на участке от ПК 306+60 до ПК 367+40 Донского магистрального канала на водоразделе рек Дона и Сала, состоит из трех ниток и предназначен для пропуска расходов магистрального канала в его затоннельную часть. Внутренний диаметр каждой нитки тоннеля – 5.2м. При входе в тоннель расположен Северный портал, при выходе – Южный. Общая максимальная пропускная способность 165м³/с.

В рамках данной очереди реконструкции ремонт тоннеля не предусматривается, т.к. по результатам обследования технического состояния тоннелей категория работоспособности согласно СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» оценена как работоспособное. В соответствии с ППРФ № 986 сооружения относятся к II классу – гидротехнические сооружения высокой опасности. В соответствии со ст. 48.1 ГКРФ гидротехнические сооружения первого и второго классов относятся к особо опасным, технически сложным и уникальным объектам. В соответствии с федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ уровень ответственности реконструируемых ГТС повышенный [4].

Порталы предназначены для плавного сопряжения тоннеля с предтоннельными ковшами магистрального канала, размещения на них затворов и подъемных механизмов, необходимых для регулирования поступления воды в тоннель и горизонтов воды на предтоннельном участке магистрального канала, а также для возможного отключения тоннеля на случай его ремонта.

Северный и Южный порталы расположены в глубокой выемке (h = до 30м), оформленной в виде ковшей.

В конструктивном отношении оба портала однотипны – оголовки, выполненные из монолитного железобетона, неразрезной конструкции докового типа. Для размещения подъемных механизмов и удобства их эксплуатации на портале (Северном) располагаются здания управления затворами (три). Здания производственного типа одноэтажные с 2-х скатным покрытием на двух нитках и односкатным плоским на третьей нитке тоннеля. Здания не отапливаются, не обеспечиваются водой и не канализуются [5].

В Северном портале располагаются рабочие и аварийно-ремонтные затворы, в Южном – их нет. На всех трех нитках затворы одинаковые.

Затворы обслуживаются специальными электрическими мостовыми кранами г.п. 2х15 т.с. Краны изготовлены на базе серийного мостового крана г.п. 20.5 т.с. пролетом 10,5 м., на мосту которого установлен специальный механизм подъема г.п. 2х15 т.с.

Материалы и методы. Северный портал гидротехнического тоннеля расположен к западу от п. Красноармейский. Тоннель проходит под Сальско-Донским водоразделом. В геоморфологическом отношении исследуемая площадка также относится к Сальско-Донскому водозабору. Рельеф площадки относительно ровный, спланированный, абсолютные отметки поверхности изменяются от 34,00 до 34,39 м.

В геоморфологическом отношении площадка Южного портала относится к водоразделу рек Дон и Сал. Территории указанных районов Ростовской области представляет собой пологую местность с отметками высот от 10 м (долина р. Дон) до 110 м (Ергенинская возвышенность). Большая часть Волгодонского района расположена в Долине Нижнего Дона с абсолютными высотами менее 100 м. Главной водной артерией является р. Дон, представленная в границах районов нижним течением. Наиболее крупными орографическими элементами территории являются Ергенинская возвышенность, Долина Нижнего Дона.

Рельеф Мартыновского района однороден и представляет собой волнистую равнину, которая на юге несколько приподнимается холмистой Сальско-Манычской грядой. Район лежит в зоне южной степи, которая в особенно сухие сезоны напоминает полупустыню.

Изучаемый участок имеет протяженность 3,92 км и расположен между местом пересечения Донского магистрального канала с р. Сал (участок расположения Дюкера) с юга и Южным порталом тоннеля – с севера.

Рельеф участка работ относительно ровный, спланированный, осложнен насыпями и дамбами: абсолютные отметки поверхности изменяются на площадке южного портала тоннеля от 30,62 до 31,00 м (по устьям скважин). Абсолютные отметки дна канала в районе южного портала составляют 23,10 м.

Климат в районе изысканий формируется под влиянием крупных циркуляционных процессов и местных факторов. Черты сухости и континентальности климата, характерные для южной части России, проявляются на рассматриваемой территории наиболее ярко. Атмосферная циркуляция находится под непосредственным влиянием системы Большого Кавказа. Наветренные по отношению к восточным ветрам предгорные наклонные равнины отличаются в холодный период повышенной пасмурностью, большой повторяемостью туманов, гололедов, изморози. Летом влияние прилегающей пустыни сказывается в резком перегреве приземных слоев воздуха.

Климат носит континентальный характер с умеренно жарким летом и с умеренно холодной зимой. Характер климата проявляется также и в резких колебаниях температур и низкой относительной влажности воздуха. На территории района температура воздуха определяется особенностями сезонной циркуляции атмосферы, рельефа и радиационного режима. Зима умеренно-мягкая. Продолжительность зимы составляет 98

дней. Минимальная средняя температура в районе отмечается в январе и достигает -5°C . Максимальная изменчивость температуры воздуха обусловлена более частыми сменами воздушных масс. Теплый сезон отличается не только монотонным распределением температуры воздуха, но и более стабильным ее режимом по сравнению с холодным сезоном. Лето умеренно жаркое. К июлю температура постепенно увеличивается, максимальная средняя температура равна 23.8°C . Весной переход температуры воздуха через 0°C фиксируется во второй декаде марта (12 марта), осенью переход через 0°C наблюдается в конце ноября (29 ноября). Период с устойчивыми морозами начинается во второй декаде декабря и прекращается к середине февраля.

При сумме температур выше $\sim 10^{\circ}\text{C}$ можно выделить в районе изысканий умеренно-жаркое лето.

Данная территория относится к средне заснеженным территориям, зима здесь умеренно мягкая: средняя температура января -5°C . средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за зиму составляет $(-)20^{\circ} - (-)25^{\circ}\text{C}$. Большое значение для нужд сельского хозяйства представляет расчет воды в снежном покрове, ее количество составляет 32 см.

Сумма осадков за теплый период составляет 270–300 мм. Атмосферная циркуляция находится под непосредственным влиянием системы Большого Кавказа. Наветренные по отношению к восточным ветрам предгорные наклонные равнины отличаются в холодный период повышенной пасмурностью, большой повторяемостью туманов, гололедов, изморози. Летом влияние прилегающей пустыни сказывается в резком перегреве приземных слоев воздуха.

Анализ климатообразующих факторов и данных среднесезонных наблюдений за метеоэлементами позволяет охарактеризовать климат исследуемого района как умеренно континентальный [6].

Среднегодовое количество осадков в районе – 391 мм, максимальное количество выпадает в июне – 43 мм, минимальное – в сентябре – 23 мм.

Преобладающее направление ветра зимой – восточное и западное, летом господствуют северо-восточные ветры.

Для данных районов характерны широтный перенос воздушных масс Атлантического океана, меридиональные северный и южный переносы, а также процессы выхолаживания или прогревания над подстилающей поверхностью.

В зависимости от происхождения воздушной массы над территорией области устанавливается определенный тип синоптического процесса, который определяет погодные условия. Для исследуемой территории характерно преобладание антициклонов (64.1%), с которыми связана преимущественно ясная, солнечная погода и реже (в зимний период) – пасмурная с морозящими осадками, туманами, гололедом и низкой облачностью.

Повторяемость циклонов в среднем составляет 131 день, или 35.9 %. Наиболее часты они в январе, июне и июле – до 13-14 дней в месяц. В теплый период циклоны сопровождаются ливнями и грозами, а в холодное время формируется обширная зона обложных осадков. Более резкие изменения погоды связаны с выходами южных циклонов. Зимой они сопровождаются интенсивными потеплениями, значительными осадками, метелями, нередко гололедом. Летом с ними связаны ливни и грозы, а в переходные сезоны – обильные обложные дожди.

В геологическом строении изучаемой территории принимают участие осадочные образования кайнозоя, неогеновая и палеогеновая системы (олигоцен), представленные глинами, ракушечниками, песками и слагающие водораздел и склоны между Доном и Салом, древние четвертичные отложения (пески, глины, ракушечники) и современные отложения (пески, глины) [5].

Отложения неогена представлены нижним и верхним отделами. Миоцен – нижний неоген выражен верхним Майкопом, тортонским ярусом. Верхнемайкопские отложения представлены бурыми глинами с незначительными прослоями песков и песчаников. К тортонскому ярусу в пределах описываемой территории относятся осадки караганского горизонта. Караганские отложения распространены широко. В левобережной части к югу от р. Дон они вскрываются скважинами на глубинах, возрастающих в южном и юго-западном направлениях от 50-80 до 450 и более м. Литологические осадки карагана представлены в основном серыми глинами с прослоями песков, мергелей и алевролитов. Мощность караганских отложений достигает 70 м.

Аллювиальные отложения слагают надпойменные террасы и пойму в долинах рек. На левобережье Дона в разрезах террас отмечается преобладание песков. Верхняя часть представляет собой обычно песчано-глинистую толщу мощностью 20-30 м, нижняя сложена песками мощностью до 60 м. Надпойменные террасы мелких рек сложены песчано-глинистыми образованиями с включениями гальки общей мощностью до 30-40 м. Пойменная терраса балок сложена суглинками и супесями мощностью 2-5 м.

Делювиальные отложения представлены эолово-делювиальными и элювиально-делювиальными накоплениями.

Эолово-делювиальные (покровные) отложения почти повсеместно распространены. Они перекрывают отложения водоразделов, их склонов и надпойменных террас. Покровные отложения представлены лессовидными, макропористыми суглинками, обладающими просадочными свойствами и содержащими горизонты ископаемых почв.

На водоразделах суглинки неслоистые, в верхней части разреза легкие, ниже по разрезу они становятся более уплотненными. Мощность водораздельных суглинков достигает 40-60 м.

Делювиальные суглинки склонов и террас обладают слоистостью, более грубым сложением и меньшей однородностью (есть прослои и линзы супесчаного материала), чем суглинки водоразделов. Мощность делювиальных суглинков склонов и террас 30-40 м.

По сейсмической опасности территория районов классифицируется как сейсмически неопасная. В пределах исследуемой территории развиты ветровая эрозия, просадочные и оползневые процессы. Тип грунтовых условий по просадочности – первый и второй. Просадку дают макропористые суглинки.

Расчетная сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности, определенная по картам ОСР-2015, составляет: А (10%) – 5 баллов. В (5%) – 5 баллов. С (1%) – 6 баллов.

На участке северного и южного портала к опасным инженерно-геологическим процессам относится подтопление исследуемой территории [7].

С учетом глубины заложения существующих зданий и сооружений исследуемая площадка относится к постоянно подтопленным в техногенно-измененных условиях. Участок по времени развития процесса 1-Б-2 – регулярно подтапливаемые в результате систематических техногенных воздействий (периодическая подача воды в оросительные системы) в оросительный период. Подача оросительной воды в канал в оросительный период вызывает процессы, которые усиливают вторичное засоление прилегающей территории [5, 7].

Подтопление обусловлено влиянием комплекса природных и техногенных факторов и развивается вследствие подъема уровня первого от поверхности безнапорного водоносного горизонта, который испытывает существенные сезонные и многолетние колебания: наблюдается преимущественно естественно-техногенный тип режима подземных вод [8].

Из опасных экзогенных процессов на изучаемом участке следует выделить интенсивный подмыв берегов, подтопляемость территории, прилегающей к каналу.

Заболоченность участков, прилегающих к каналу, вызвана геоморфологическим расположением сооружения (район низменный, относится к павням Терека), а также близким залеганием грунтовых вод к поверхности, во многом обусловленным работой канала.

При проведении рекогносцировочного обследования участка проявлений карстовых процессов на дневной поверхности не обнаружено. При бурении скважин провалы инструмента не отмечались, ослабленные зоны и карстовые полости не вскрывались. Участок изысканий относится к неопасным в карстово-суффозионном отношении [9].

Опасных критериев на данной территории могут достигать следующие процессы:

1. Ветер. Расчетная максимальная скорость ветра повторяемостью 1 раз в 25 лет составляет 32 м/с.

2. Дождь (интенсивность осадков). Вероятно выпадение осадков более 100 мм за 2 суток и менее. Переход других критериев интенсивности осадков маловероятен. Наблюденный суточный максимум осадков составил: 72 мм ((Большая Мартыновка. 03.09.1993 г.). 100 мм (Ростов-на-Дону, 20.06.1929 г.)). Расчетный суточный максимум осадков 1%-ной обеспеченности для рассматриваемого района $H_{1\%} = 100$ мм.

3. Гололед. Максимальная величина отложения на проводах (большой диаметр, мм. с учетом диаметра гололедного станка) составила: 62 мм (кристаллическая изморозь). Расчетная толщина стенки гололеда повторяемостью 1 раз в 25 лет составляет 20 мм.

Вероятность развития остальных вышеуказанных процессов и явлений в районе изысканий крайне мала. Район изысканий не относится к селевому. Смерчи не отмечались. Для возникновения снежных лавин также нет условий. Затопление участку работ не угрожает.

Результаты и обсуждение. В результате анализа пространственной изменчивости свойств грунтов, с учетом данных о геологическом строении площади и литологических особенностей пород, а также водно-физических и механических параметров слоев в изученном разрезе выделены 6 инженерно-геологических элементов (в работе не приводятся).

Оценка агрессивных свойств воды из канала выполнена по худшим показателям химического состава. Вода из канала неагрессивна по всем показателям для всех марок бетона и железобетона [10].

В результате анализа проведенного обследования были уточнены категории технического состояния гидротехнических сооружений и уровень их безопасности [11]. Выявлены значительные дефекты и разрушения, требующие реконструкции (рисунки 1 и 2), в том числе:

- износ железобетонных поверхностей конструкции оголовков северного и южного порталов.
- отслоение защитного слоя бетона и оголение арматуры.
- следы коррозии арматуры с ржавыми потеками.
- ныряющие стенки и дно со следами абразивного износа наносами,
- нарушение работоспособность деформационных швов.
- дно оголовков обоих порталов частично занесено мусором, грунтом наилка, каменной наброской.



Figure 1 – Inlet head of the tunnel



Figure 2 – Outlet head of the tunnel

На рисунке 3 на схеме показано текущее состояние железобетонных элементов правой стены южного портала № 1.



Figure 3 – The current state of the southern portal (left wall)

В Северном портале располагаются рабочие и аварийно-ремонтные затворы, на всех трех нитках затворы одинаковые. В Южном портале затворы не предусмотрены.

В результате обследования металлических конструкций Северного портала выявлены значительные дефекты и разрушения, требующие его реконструкции [7, 8]:

- аварийно-ремонтные и рабочие затворы находятся в аварийном состоянии, донные и боковые уплотнения частично отсутствуют, ходовые (опорные) колеса отсутствуют, металлоконструкции затворов в результате длительной эксплуатации подверглись глубокой коррозии;
- направляющие аварийно-ремонтных и рабочих затворов частично деформированы, подверглись глубокой коррозии, что приводит к неполному перекрытию пролетов;
- грузоподъемное оборудование: мостовые краны г.п.2х15тс, расположенные в помещениях управления затворами в нерабочем состоянии, морально и физически устарели и требуют замены.

Заключение. Анализ состояния трех ниток тоннеля Донского магистрального канала показал, что сооружение испытало значительный износ и коррозию как на железобетонных поверхностях, так и на металлических конструкциях. Это является серьезной проблемой, поскольку структурная целостность трех ниток тоннеля может быть нарушена, что может привести к аварийной ситуации.

Одной из основных причин такого состояния трех ниток тоннеля является длительная эксплуатация без должного технического обслуживания и регулярного ремонта. Отсутствие регулярного контроля и предупреждающих мер, таких как реставрация защитных покрытий и механизмов, привело к накоплению повреждений и деградации материалов.

Кроме того, часть грузоподъемного оборудования отсутствует и та, которая все еще используется, является физически и морально устаревшей. Это создает риск не только для работников, но и для самого сооружения. Устаревшее оборудование может не соответствовать современным стандартам безопасности, а его дальнейшая эксплуатация может привести к серьезным аварийным ситуациям.

Для предотвращения подобных проблем в будущем необходимо установить регулярное техническое обслуживание и контроль за состоянием трех ниток тоннеля. Это позволит своевременно выявлять и устранять повреждения, а также обновлять устаревшее оборудование. Также следует разработать стратегию проведения регулярных инспекций и ремонтов, чтобы поддерживать сооружение в безопасном надежном состоянии на протяжении всего срока его эксплуатации.

Одновременно с проведением работ по восстановлению трех ниток тоннеля необходимо разработать и внедрить стратегию по управлению и обслуживанию сооружения. Это может включать в себя установление регулярных графиков инспекций, технического обслуживания и ремонтных работ, а также создание системы мониторинга состояния трех ниток тоннеля для своевременного выявления и устранения потенциальных проблем [13, 14].

Важно также проводить обучение персонала, ответственного за эксплуатацию и обслуживание трех ниток тоннеля, по современным стандартам и методам работы. Это поможет повысить эффективность и безопасность эксплуатации сооружения, а также обеспечить соответствие международным нормам и требованиям.

В заключение, анализ состояния трех ниток тоннеля Донского магистрального канала подчеркивает необходимость немедленного восстановления и модернизации сооружения. Принятие соответствующих мер позволит обеспечить безопасность и надежность эксплуатации тоннеля, сохранить его структурную целостность и предотвратить возможные аварийные ситуации. Это требует согласованного усилия всех заинтересованных сторон и выделения достаточных ресурсов для проведения необходимых работ [12].

Conclusions. An analysis of the condition of the three lines of the tunnel of the Don main canal showed that the structure experienced significant wear and corrosion both on reinforced concrete surfaces and on metal structures. This is a serious problem because the structural integrity of the three lines of the tunnel can be broken, which can lead to an emergency.

One of the main reasons for this state of the three lines of the tunnel is long-term operation without proper maintenance and regular repairs. The lack of regular control and preventive measures, such as the restoration of protective coatings and mechanisms, has led to the accumulation of damage and degradation of materials.

In addition, part of the lifting equipment is missing and the one that is still in use is physically and morally obsolete. This creates a risk not only for workers, but also for the structure itself. Outdated equipment may not meet modern safety standards, and its continued operation may lead to serious accidents.

To prevent similar problems in the future, it is necessary to establish regular maintenance and monitoring of the condition of the three lines of the tunnel. This will allow timely detection and repair of damage, as well as updating outdated equipment. A strategy should also be developed to carry out regular inspections and repairs to keep the structure in a safe and reliable condition throughout its life.

Simultaneously with the work on the restoration of the three lines of the tunnel, it is necessary to develop and implement a strategy for the management and maintenance of the structure. This may include establishing regular schedules for inspections, maintenance and repairs, as well as establishing a system for monitoring the condition of the three tunnel lines to identify and eliminate potential problems in a timely manner [13, 14].

It is also important to train the personnel responsible for the operation and maintenance of the three lines of the tunnel in modern standards and working methods. This will help improve the efficiency and safety of the operation of the facility, as well as ensure compliance with international standards and requirements.

In conclusion, the analysis of the condition of the three lines of the Donskoy Main Canal Tunnel highlights the need for immediate restoration and modernization of the structure. The adoption of appropriate measures will ensure the safety and reliability of the operation of the tunnel, maintain its structural integrity and prevent possible emergencies. This requires a concerted effort by all stakeholders and the allocation of sufficient resources to carry out the necessary work [12].

Библиографический список

1. Щедрин В. Н., Сенчуков Г. А. Перспективы развития мелиорации и водного хозяйства в Российской Федерации. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 1 (5). С. 1-9.
2. Волосухин В. А., Бандурин М. А., Приходько И. А. Теоретическое обоснование снижения рисков эксплуатации гидротехнических сооружений и использование гибких дамб для инженерной защиты территории от подтопления. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 407-418.
3. Кузьмичев А. А., Бреева А. В. Использование водных ресурсов Цимлянского водохранилища для целей орошения в условиях малой водообеспеченности. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 1 (81). С. 44-47.
4. Дубяго Д. С., Новиков А. Е., Мажайский Ю. А. Повышение качества бетонных работ при ремонте и восстановлении конструкций гидротехнических сооружений на мелиоративных системах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 561-568.
5. Слабунова А. В., Клишин И. В. Техническое состояние оросительных систем Ростовской области. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 3 (75). С. 24-29.
6. Косиченко Ю. М., Угроватова Е. Г. Гидравлические и эксплуатационные критерии функционирования крупных каналов перераспределения стока. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2013. № 5 (174). С. 62-66.
7. Волосухин В. А., Бондаренко В. Л. Факторы, определяющие безопасность гидротехнических сооружений водохозяйственного назначения. Наука и безопасность. 2014. № 3(12). С. 7-8.
8. Косиченко Ю. М., Угроватова Е. Г. Пути решения водохозяйственных проблем в районах Нижнего Дона. Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 5. С. 4-10.
9. Ищенко А. В., Баев О. А. Оценка эффективности противифльтрационного экрана на Донском магистральном канале. Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 4 (29). С. 67-72.

10. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-23.

11. Ткачев А. А., Белов В. А., Анохин А. М., Шелестова Н. А., Арчаков И. А., Дроздов А. И., Балковой С. Ю., Гунин А. А., Ломинога Д. С., Гилетин Е. Г., Паклинов Е. Г., Сапунов А. М., Титаренко Д. В., Павлов Е. А., Узунов А. М., Стрелок В. А., Хлебников С. В., Сазонов А. А., Щепилов Н. И., Костюков В. С. Актуальные вопросы практических исследований гидротехнических сооружений. Новочеркасск. 2023. 190 с.

12. Иванов П. В., Турянская Н. И. Стратегическое управление мелиоративной деятельностью региона (на примере Ростовской области). Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 5. С. 23-29.

13. Doulamis N. Autonomous Robotic Inspection in Tunnels. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016.

14. Navarro T. V. F., Da Gama C. D., Sotomayor J. M. G. Post-Work Inspection for Overbreak in Tunnels: a Case Study Application to the Alqueva Hydroelectric Plant. Geomechanics and Geoengineering. 2018. V. 1. Pp. 80–89.

References

1. Shchedrin V. N., Senchukov G. A. Prospects for the development of land reclamation and water management in the Russian Federation. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems. 2012. № 1 (5). Pp. 1-9.

2. Volosukhin V. A., Bandurin M. A., Prikhodko I. A. Theoretical justification for reducing the risks of operating hydraulic structures and the use of flexible dams for engineering protection of the territory from flooding. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. № 4 (68). Pp. 407-418.

3. Kuzmichev A. A., Breeva A. V. Use of water resources of the Tsimlyansk reservoir for irrigation purposes in low water supply conditions. Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2021. № 1 (81). Pp. 44-47.

4. Dubyago D. S., Novikov A. E., Mazhaisky Yu. A. Improving the quality of concrete work during the repair and restoration of structures of hydraulic structures on reclamation systems. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. № 4 (68). Pp. 561-568.

5. Slabunova A. V., Klishin I. V. Technical condition of irrigation systems of the Rostov region. Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2019. № 3 (75). Pp. 24-29.

6. Kosichenko Yu. M., Ugrovatova E. G. Hydraulic and operational criteria for the functioning of large flow redistribution channels. News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical sciences. 2013. № 5 (174). Pp. 62-66.

7. Volosukhin V. A., Bondarenko V. L. Factors determining the safety of hydraulic structures for water management purposes. Science and security. 2014. № 3 (12). Pp. 7-8.

8. Kosichenko Yu. M., Ugrovatova E. G. Ways to solve water management problems in the areas of the Lower Don. Water supply and sanitary equipment. 2017. № 5. Pp. 4-10.

9. Ishchenko A. V., Baev O. A. Assessment of the effectiveness of the anti-filtration screen on the Don main channel. Urban planning and architecture. 2017. V. 7. № 4 (29). Pp. 67-72.

10. Tkachev A. A., Olgarenko I. V. Modern problems in managing water distribution in the main channels of irrigation systems. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems. 2021. V. 11. № 2. Pp. 1-23.

11. Tkachev A. A., Belov V. A., Anokhin A. M., Shelestova N. A., Archakov I. A., Drozdov A. I., Balkovoy S. Yu., Gunin A. A., Lominoga D.S., Giletin E.G., Paklinov E.G., Sapunov A.M., Titarenko D.V., Pavlov E.A., Uzunov A.M., Strelter V.A., Khlebnikov S.V., Sazonov A.A., Shchepilov N.I., Kostyukov V.S. Actual issues of practical research of hydraulic structures. Novocherkassk, 2023, 190 p.

12. Ivanov P. V., Turyanskaya N. I. Strategic management of reclamation activities of the region (on the example of the Rostov region). Reclamation and water management. 2017. № 5. Pp. 23-29.

13. Doulamis N. Autonomous Robotic Inspection in Tunnels. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016.

14. Navarro T. V. F., Da Gama C. D., Sotomayor J. M. G. Post-Work Inspection for Overbreak in Tunnels: a Case Study Application to the Alqueva Hydroelectric Plant. Geomechanics and Geoengineering. 2018. V. 1. Pp. 80–89.

Информация об авторах

Ткачев Александр Александрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидротехническое строительство», Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортюнова – филиал Донского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: prof_al@mail.ru

Шелестова Наталья Алексеевна, кандидат технических наук, профессор кафедры «Гидротехническое строительство», Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортюнова – филиал Донского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: na.shele@yandex.ru

Пазынич Сергей Юрьевич, магистр по направлению подготовки "Речные и подземные гидротехнические сооружения", Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортюнова – филиал Донского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Ключенко Ксения Ивановна, аспирант по направлению подготовки "Техника и технологии строительства", Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортюнова – филиал Донского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Author's Information

Tkachev Aleksander Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Hydraulic Engineering, Novochoerkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Novochoerkassk, Pushkinskaya St., 111), e-mail: prof_al@mail.ru

Shelestova Natalya Alekseevna, candidate of engineering sciences, Professor in the Department of Hydraulic Engineering, Novochoerkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Novochoerkassk, Pushkinskaya St., 111), e-mail: na.shele@yandex.ru

Pazynich Sergey Yuryevich, Master in training "River and Underground Hydraulic Structures", Novochoerkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Novochoerkassk, Pushkinskaya St., 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Klyuchenko Ksenia Ivanovna, graduate student in training "Construction Technology and Technology", Novochoerkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Novochoerkassk, Pushkinskaya St., 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-46

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MELON CROP LASHES

M. N. Shaprov¹, I. S. Martynov¹, A. V. Sedov¹, V. E. Berdyshev², D.A. Nekhoroshev¹

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow State Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: m.shaprov@yandex.ru

Received 28.09.2023

Submitted 14.11.2023

Abstract

Introduction. Obtaining guaranteed high yields of melon crops is possible with full compliance with all technological operations of their cultivation. One of such operations is weed control [2, 11]. For this purpose, as weeds appear, crops are cultivated. But during the third and sometimes the second cul-

tivation, the lashes grow in the aisles so much that when the tractor passes, its wheels are damaged. Therefore, it is necessary in this case to shift the lashes from the aisle to the axis of the row, and after the passage of the machine-tractor unit, return them to their place. The most promising tool for performing these operations is a tool for laying and subsequent layout of lashes with an active type working body, which ensures the movement of lashes on the soil with minimal displacement relative to the working body. But the calculation of the basic structural and kinematic parameters of the machine is impossible without knowledge of the basic dimensional-mass and strength parameters of the lashes. This determines the need for these studies [1, 5]. **Object.** The objects of the study were plants of three varieties of watermelon "Crimson Sweet", "Impulse" and "Chill". **Materials and methods.** The development of the technological process and design of the machine, the work of which is associated with the impact on the processed agricultural materials, should be based on knowledge of their physical and mechanical properties, which determine its ability to resist deformation and destruction. This was pointed out by academicians Goryachkin V. P., Zheligovsky V. A., Listopad G. E. and a number of other scientists involved in the development of technological processes for agricultural production and new machines for their implementation. In experimental studies, both a general methodology was used, and in some cases a private methodology was developed. This was due to the fact that melon plants have a wide variety of physical and mechanical properties, which required the development of both special equipment and devices, as well as features of measuring the required values. The research results were processed using mathematical statistics methods and presented in the form of tables and graphs [6]. **Results and conclusions.** The conducted experimental studies made it possible to determine the main strength and size-mass values of watermelon lashes, which are necessary for calculating the parameters of the working body of the active type of tool for laying-laying lashes.

Key words: melons, technologies for cultivating melons, weeding of melons, cultivation of crops.

Citation. Shaprov M. N., Sedov A. V., Martynov I. S., Berdyshev V. E. Results of experimental studies of physical and mechanical properties of melon crop lashes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72) 460-470 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-46.

Author's contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of the experiment, got acquainted with the final version of the article and approved it.

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

УДК 631.635.34

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕТЕЙ БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР

М. Н. Шапров¹, доктор технических наук, профессор

А. В. Седов¹, кандидат технических наук, доцент

И. С. Мартынов¹, кандидат технических наук, доцент

В. Е. Бердышев², доктор технических наук, профессор

Д. А. Нехорошев¹, доктор технических наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. Тимирязева
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Получение гарантированных высоких урожаев бахчевых культур возможно при полном соблюдении всех технологических операций их возделывания. Одной из таких операций является борьба с сорной растительностью. С этой целью по мере появления сорняков проводится культивация посевов. Но при проведении третьей, а иногда и второй культивации плети разрастаются в междурядьях настолько, что при проходе трактора повреждаются его колесами. Поэтому необходимо в этом случае сместить плети с междурядья к оси рядка, а после прохода машинотракторного агрегата вернуть их на место. Наиболее пер-

спективным для выполнения этих операций является орудие для укладки и последующей раскладки плетей с рабочим органом активного типа, которое обеспечивает перемещение плетей по почве с минимальным их смещением относительно рабочего органа. Но расчет основных конструктивных и кинематических параметров машины невозможен без знания основных размерно-массовых и прочностных параметров плетей. Этим и обуславливается необходимость данных исследований. **Объект.** Объектом исследования являлись растения трех сортов арбуза – «Кримсон Свит», «Импульс» и «Холодок». **Материалы и методы.** Разработка технологического процесса и конструкции машины, работа которой связана с воздействием на обрабатываемые сельскохозяйственные материалы, должна основываться на знании их физико-механических свойств, которые обуславливают его способность сопротивляться деформированию и разрушению. На это указывали академики Горячкин В. П., Желиговский В. А., Листопад Г. Е. и ряд других ученых, занимавшихся разработкой технологических процессов для сельскохозяйственного производства и новых машин для их реализации. В экспериментальных исследованиях использовалась как общая методика, так и в отдельных случаях разрабатывалась частная методика. Это было обусловлено тем, что растения бахчевых культур обладают большим разнообразием физико-механических свойств, что потребовало разработки как специального оборудования и приборов, так и особенностей измерения требуемых величин. Результаты исследований были обработаны с использованием методов математической статистики и представлены в виде таблиц и графиков [6]. **Результаты и выводы.** Проведенные экспериментальные исследования позволили определить основные прочностные и размерно-массовые значения плетей арбузов, которые необходимы для расчета параметров рабочего органа активного типа орудия для укладки-раскладки плетей.

Ключевые слова: бахчевые культуры, технологии возделывания бахчевых культур, прополка бахчевых, культивация посевов.

Цитирование. Шапров М. Н., Седов А. В., Мартынов И. С., Бердышев В. Е. Результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств плетей бахчевых культур. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 460-470. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-46.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Бахчеводство – одна из важнейших отраслей сельскохозяйственного производства в Нижнем Поволжье и ряде других регионов России. Получение гарантированных высоких урожаев бахчевых культур возможно при полном соблюдении всех технологических операций их возделывания [12, 14]. Одной из таких операций является борьба с сорной растительностью [1, 2]. Биологическая особенность бахчевых культур заключается в том, что после всходов формирование корневой системы, и соответственно, стеблей, идет значительно медленнее, чем рост сорняков. Это ведет к угнетению бахчевых, развитие растений может практически прекратиться. Поэтому борьба с сорняками является важнейшей операцией при возделывании бахчевых культур. С этой целью по мере появления сорняков проводится культивация посевов [4, 5, 7, 9, 10, 13]. Но при проведении третьей, а иногда и второй культивации плети разрастаются в междурядьях настолько, что при проходе трактора повреждаются его колесами. Поэтому в данном случае необходимо сместить плети с междурядья к оси рядка, а после прохода машинно-тракторного агрегата вернуть их на место. При использовании бахчевого культиватора КНБ-5,4 для смещения плетей перед колесами трактора устанавливаются входящие в комплект культиватора пассивные плетеотводы. Но они не повреждают плеть, если отводится только ее вершина длиной 0,2...0,3 метра. При большей длине повреждаемость плетей резко возрастает, так как происходит их захлест вокруг пле-

теотвода. Поэтому более перспективным является орудие для укладки и последующей раскладки плетей с рабочим органом активного типа, который перемещает плети по почве с минимальным их смещением относительно рабочего органа, чем обеспечивая их минимальное повреждение при выполнении операций укладки и раскладки [2].

Материалы и методы. Разработка технологического процесса и конструкции машины, работа которой связана с воздействием на обрабатываемый сельскохозяйственный материал, должна основываться на знании его физико-механических свойств, которые обуславливают способность материала сопротивляться деформированию и разрушению. На это указывали академики Горячкин В. П., Желиговский В. А., Листопад Г. Е. и ряд других ученых, занимавшихся разработкой технологических процессов для сельскохозяйственного производства и новых машин для их реализации [3, 8].

При разработке технологического процесса и конструкции орудия для укладки и раскладки плетей бахчевых культур, и в первую очередь плетей арбузов, с рабочими органами активного типа возникла необходимость изучения прочностных и упругих свойств плетей, коэффициентов трения и ряда других свойств. В экспериментальных исследованиях использовалась как общая методика, так и, в отдельных случаях, разрабатывалась частная методика [6]. Это было обусловлено тем, что растения бахчевых культур, как и многие другие сельскохозяйственные культуры, обладают большим разнообразием физико-механических свойств, что потребовало разработки как специального оборудования и приборов, так и особенностей измерения требуемых величин. Экспериментальные исследования велись на трех сортах арбузов разного срока созревания: раннего – Кримсон Свит, среднего – Импульс, и позднего – Холодок.

Результаты и обсуждение. В первую очередь был определен критический радиус изгиба плети $R_{кр.}$, то есть тот минимальный радиус изгиба плети, при котором не нарушается ее внутренняя структура. Он необходим при определении параметров рабочего органа плетеукладчика, обеспечивающего перемещение плети без ее повреждения.

Данный параметр определялся в трех точках плети: вершина, середина и начало (у корневой шейки). Статистические характеристики, полученные после обработки результатов, представлены в таблице 1. Оценка существенности разности средних значений $R_{кр.}$ по t-критерию Стьюдента показывает, что для плетей длиной до 1,5 метров разность значений $R_{кр.}$ по длине не существенна. При большей длине плетей эта разность уже становится существенной. Это обусловлено тем, что стебель сначала у корня, а затем и в середине становится более упругим за счет увеличения в нем сухих веществ.

Таблица 1 – Значение критического радиуса изгиба плети $R_{кр}$
Table 1 – The value of the critical bending radius of the whip $R_{кр}$

Длина плети, м	Статистические характеристики					
	$\bar{x}$, мм	σ , мм	V , %	$\sigma_{\bar{x}}$, мм	$\sigma_{\bar{x}}$, %	$\bar{x} \pm t_{05}\sigma_{\bar{x}}$
Вершина плети						
0,5...1,0	21,2	1,03	4,8	0,11	0,5	21,2±0,2
1,1...1,5	21,4	0,9	4,3	0,09	0,4	21,4±0,2
>1,5	21,8	1,06	4,9	0,11	0,5	21,8±0,2
Середина плети						
0,5...1,0	14,3	0,88	6,2	0,1	0,7	14,3±0,2
1,1...1,5	14,3	0,93	6,8	0,1	0,7	14,6±0,2
>1,5	15,3	1,01	6,8	0,1	0,7	15,3±0,3
Начало плети						
0,5...1,0	9,0	0,84	9,2	0,09	1,0	9,0±0,2
1,1...1,5	9,2	0,80	8,9	0,09	0,9	9,2±0,15
>1,5	9,7	0,90	9,8	0,1	1,0	9,7±0,2

В процессе перемещения плети рабочим органом орудия возможен и другой вид ее повреждения – это или выдергивание плети из почвы (теребление), или ее отрыв от корня. Поэтому знание этих параметров также является очень важным при разработке конструкции рабочего органа плетеукладчика.

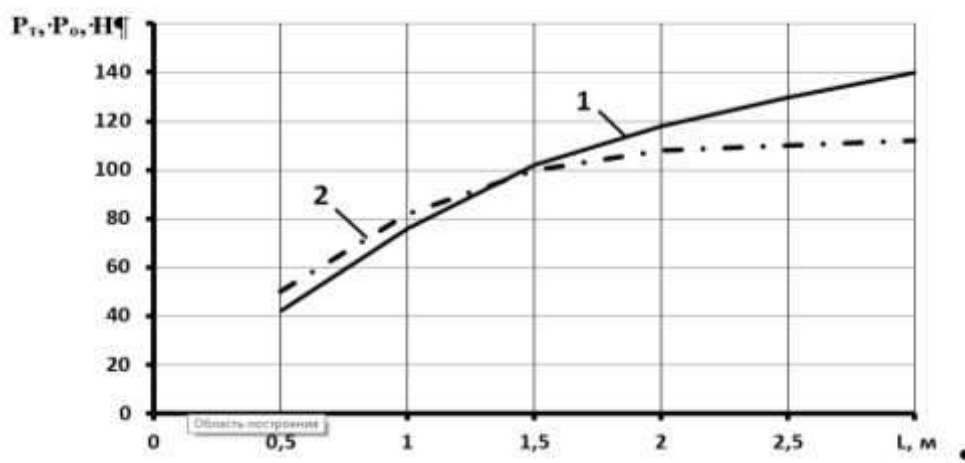


Рисунок 1 – Зависимость усилия теребления и отрыва плети от ее длины:

1 – усилие теребления; 2 – усилие отрыва

Figure 1 – The dependence of the pulling force and the separation of the whip on its length:

1 – pulling force; 2 – the separation force

Как уже отмечалось, в процессе развития растения меняется внутренняя структура плети, что ведет и к изменению ее прочностных характеристик. Также параллельно идет и рост корневой системы. На эти параметры влияет и тип почвы. Опыты проводились на супесчаных почвах Быковского района.

Обработка результатов проведенных экспериментов позволила определить корреляционные зависимости усилия теребления $P_t(H)$ и усилия отрыва от корня $P_o(H)$ в зависимости от длины плети $L(m)$, которые описываются следующими уравнениями:

$$P_t = 72,4 L^{0,68}$$

$$P_o = 10^3 L(4 + 8L)^{-1}$$

Представленные на рисунке 1 графики этих зависимостей показывают, что до длины плети 1,3 м происходит ее выдергивание из почвы, а при большей длине идет отрыв плети от корня.

Еще одним параметром, влияющим на повреждение плети, является ее сопротивление при перемещении по почве. Опыты проводились на предварительно прокультивированных участках посевов бахчевых культур, чтобы исключить влияние на этот параметр сорной растительности. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные статистические характеристики при определении коэффициента сопротивления перемещения плети по почве

Table 2 – The main statistical characteristics in determining the coefficient of resistance of the movement of the whip on the soil

Сорт	Статистические характеристики				
	$\bar{x}$	σ	$V, \%$	$\sigma_{\bar{x}}$	$\sigma_{\bar{x}}, \%$
Кримсон Свит	0,98	0,07	7,1	0,01	0,7
Импульс	0,97	0,05	4,6	0,01	0,6
Холодок	1,1	0,06	6,3	0,01	0,9

Оценка существенности разности коэффициента сопротивления для всех трех сортов оказалась несущественной. Поэтому на доверительном уровне 5% его значение находится в пределах 0,97...1,1.

В процессе развития растения меняется не только длина плети, но и ее масса за счет появления плетей второго и последующих порядков. Анализ результатов опытов позволил выявить корреляционную связь между массой плети и ее длиной. Но оказалось, что ее вид зависит от длины плети. Так, для плетей длиной до 1 метра уравнение регрессии носит прямолинейный характер (коэффициент корреляции $r = 0,99$) и имеет следующий вид

$$M = 0,06L + 0,02.$$

Для плетей длиной 1,0...1,5 метра зависимость также носит прямолинейный характер (коэффициент корреляции $r = 0,91$), но имеет вид

$$M = 0,11L + 0,01.$$

Дальше характер зависимости меняется, она становится криволинейной (корреляционное отношение $\eta = 0,97$) и описывается выражением

$$M = \frac{0,15}{1 + 10^{(3,25 - 2,34L)}} + 0,07.$$

Графики данных зависимостей представлены на рисунке 2.

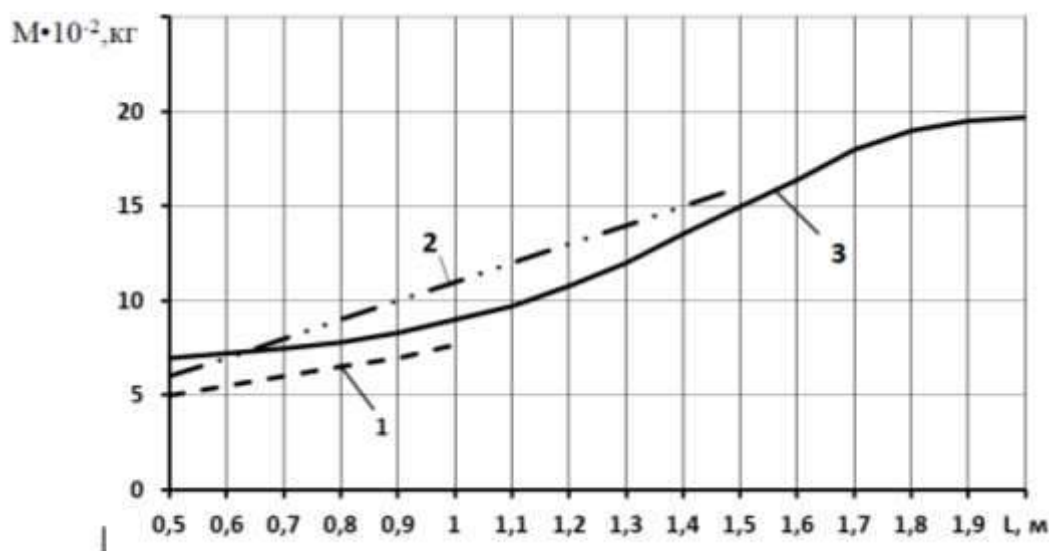


Рисунок 2 – Распределение массы плети по длине: 1 – длина плети 1 м; 2 – длина плети 1,5 м; 3 – длина плети 2 м

Figure 2 – Distribution of the weight of the whip along the length: 1 – the length of the whip is 1 m; 2 – the length of the whip is 1.5 m; 3 – the length of the whip is 2 m

При перемещении плети в начальный момент происходит ударное взаимодействие рабочего органа с плетью, что может привести к ее деформации в месте контакта. Поэтому важно знать влияние степени деформации плети на ее дальнейший рост. В этих опытах оценивался прирост плетей за сутки разной степени деформации по сравнению с контролем. Графики, определяющие величину прироста плети в зависимости от отношения глубины распространения деформации к диаметру плети, представлены на рисунке 3.

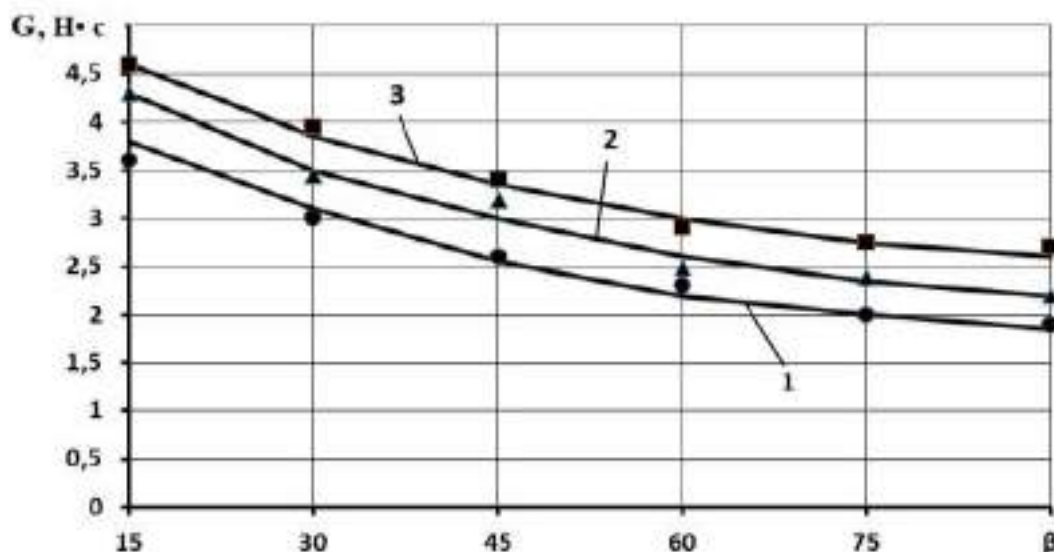


Рисунок 3 – Зависимость допустимого ударного импульса от угла удара (жесткое крепление плети, диаметр пальца 5 мм): 1 – вершина плети; 2 – середина плети; 3 – начало плети
Figure 3 – The dependence of the permissible shock pulse on the angle of impact (rigid attachment of the whip, finger diameter 5 mm): 1 – the tip of the whip; 2 – the middle of the whip; 3 – the beginning of the whip

Из них видно, что при одинаковой деформации прирост зависит и от места этой деформации. Прирост уменьшается по мере смещения места деформации от вершины к корню. Если принять, что прирост деформированной плети должен быть не менее 95% по сравнению с контролем, то допустимая глубина деформации должна быть плети не более: для вершины – 0,25, для середины – 0,15 и начала – 0,1 величины ее диаметра.

Величина этих деформаций зависит от значений ударной нагрузки и от прочностных свойств плети. Знание этих параметров является основой при определении кинематических параметров рабочего органа плетееукладчика.

Определение допустимой ударной нагрузки основывается на классической теории удара, согласно которой импульс, которым характеризуется удар, равен по модулю и направлению изменению количества движения точки и определяется из выражения [3]

$$G = mv - mv_0 = \int_0^t F dt,$$

где v и v_0 – скорости точки в конце и начале удара, F – сила удара.

Кроме того, при одном и том же значении ударного импульса на величину деформации также влияют площадь контакта плети и рабочего органа и угол между плетью и направлением удара. Полученные данные показывают, что максимальное повреждение плетью получает при угле равном 90° . По длине плети меньше всего она деформируется у начала, а максимально у вершины. Также оказалось, что диаметр пальца рабочего органа мало влияет на величину деформации, так для пальцев диаметром от 5 мм до 15 мм и при углах от 45° до 90° повреждаемость практически одинакова. Также было выявлено, что повреждаемость зависит и от фиксации плети. Она выше, если плетью зафиксирована и у корня и у вершины, чем в случае, когда вершина свободна.

С учетом этих данных и вышеприведенных данных по допустимой деформации различных участков плети были рассчитаны значения допустимого ударного импульса для разных участков плети в зависимости от угла направления удара и диаметра пальца

рабочего органа (рисунок 3, 4, 5). Для дальнейших расчетов кинематических параметров рабочего органа необходимо брать минимальное из этих значений. Как видно из графиков, минимальное значение допустимого ударного импульса равно 1,8 Н·с для вершины жестко закрепленной плети, в том случае, когда диаметр пальца рабочего органа равен 5 мм, а направление удара перпендикулярно плети.

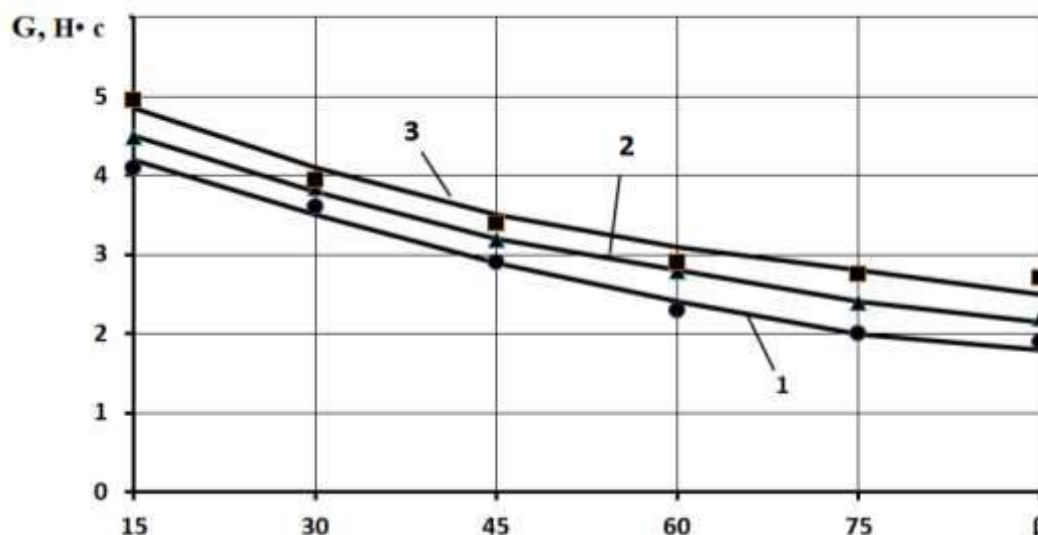


Рисунок 4 – Зависимость допустимого ударного импульса от угла удара (крепление одного конца плети, диаметр пальца 5 мм): 1 – вершина плети; 2 – середина плети; 3 – начало плети

Figure 4 – The dependence of the permissible shock pulse on the angle of impact (fastening of one end of the whip, finger diameter 5 mm): 1 – the tip of the whip; 2 – the middle of the whip; 3 – the beginning of the whip

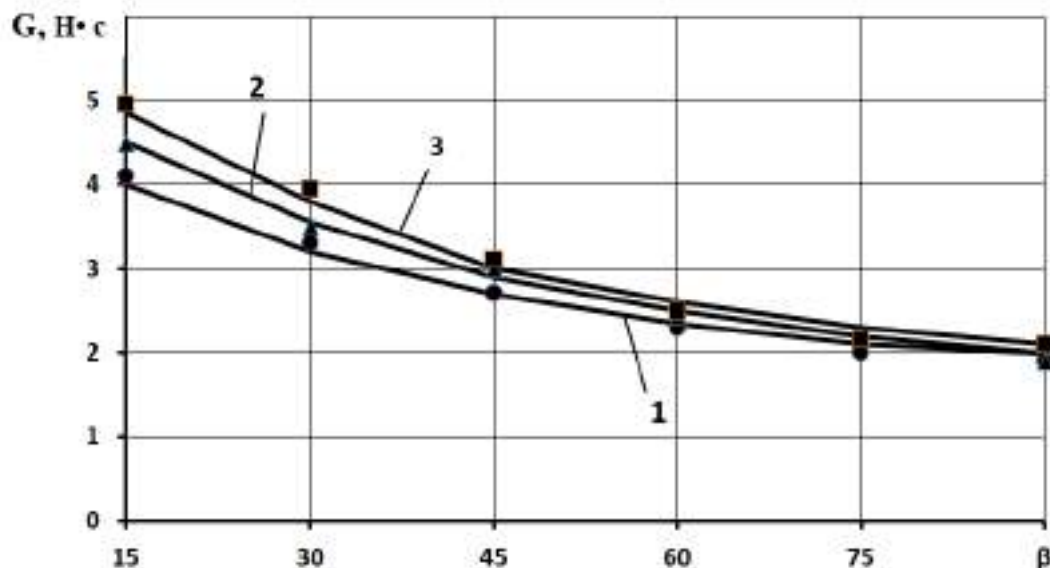


Рисунок 5 – Зависимость допустимого ударного импульса от угла удара (жесткое крепление плети, середина плети): 1 – диаметр пальца 5 мм; 2 – диаметр пальца 10 мм; 3 – диаметр пальца 15 мм

Figure 5 – Dependence of the permissible shock pulse on the angle of impact (rigid plate attachment, middle of the plate): 1 – finger diameter 5 mm; 2 – finger diameter 10 mm; 3 – finger diameter 15 mm

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования позволили определить основные прочностные характеристики плетей арбузов, значение которых необходимо для расчета конструктивных и кинематических параметров орудия для укладки и раскладки плетей.

Установлено, что наибольшее значение критического радиуса изгиба будет у вершины плети (21...22 мм), а минимальное значение будет у начала плети (9...10 мм). Полученные зависимости показывают, что до длины плетей до 1,3 м плеть не отрывается от корня, а выдергивается из почвы. При большей длине уже идет отрыв плети. Численные значения этого параметра равны при длине плети: 0,5 м – 40...50Н, 1,0 м – 75...80 Н, 1,5 м – 100...110 Н.

Значение допустимого ударного импульса, при котором прирост плети по сравнению с контролем будет не менее 95%, равно 1,8 Н с для вершины жестко закрепленной плети, в том случае, когда диаметр пальца рабочего органа равен 5 мм, а направление удара перпендикулярно плети.

Получены уравнения зависимости массы плети от ее длины. Эта зависимость прямолинейная при длине плети до 1,5 метров. При большей длине зависимость уже носит криволинейный характер.

Conclusions. Experimental studies made it possible to determine the main strength characteristics of watermelon braids, the value of which is necessary for calculating the structural and kinematic parameters of the tool for laying and laying the braids.

It was established that the largest value of the critical bend radius will be at the vertex of the string (21... 22 mm), and the minimum value will be at the beginning of the string (9... 10 mm). The obtained dependencies show that up to the length of the lashes up to 1.3 m, the lash does not break away from the root, but pulls out of the soil. With a longer length, the lash is already breaking away. The numerical values of this parameter are equal with the length of the string: 0.5 m – 40...50N, 1.0 m – 75... 80 N, 1.5 m – 100... 110 N.

The value of the permissible impact pulse at which the growth of the lash in comparison with the control will be at least 95% is 1.8 N • s for the top of the rigidly fixed lash, in the case when the diameter of the finger of the working member is 5 mm, and the direction of impact is perpendicular to the lash.

Equations of dependence of lash mass on its length are obtained. This dependence is rectilinear with a string length of up to 1.5 meters. In case of a longer length, the dependence is already curvilinear.

Библиографический список

1. Алдошин Н. В., Маматов Ф. М., Исмаилов И. И. Средства механизации для обработки почвы в бахчеводстве. Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С. 12-15.
2. Байрамбеков Ш. Б., Боева Т. В., Соколов А. С. Основные элементы технологии возделывания бахчевых культур. Защита и карантин растений. 2020. № 4. С. 31-35.
3. Медведков Е. Б., Назымбекова А. Е., Шапоров М. Н., Тлевлесова Д. А., Шамбулов Е. Д., Кайрбаева А. Е. Измерение механических свойств плодов арбуза. Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. Краснодар: КубГАУ, 2020. С. 339-344.
4. Ключков А. В. Механические и физические методы борьбы с сорняками. Наше сельское хозяйство. Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. 2020. №17 (241). С. 84-89.
5. Овчинников А. С., Цепляев А. Н., Шапоров М. Н. и др. Комплекс современных модернизированных машин и их рабочих органов для механизации бахчеводства. Волгоград: ИПК ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ «Нива», 2018. 228 с.
6. Листопад И. А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства М.: Агропромиздат, 1988. 88 с.
7. Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Бородин В. И. Рабочий орган для междурядной обработки почвы. Сельский механизатор. 2022. № 10. С. 8.
8. Орешкина М. В., Крыгина Е. Е., Крыгин С. Е. Исследование некоторых физико-механических свойств стеблей картофеля. Вестник РГАТУ. 2020. № 2 (46). С. 80-85.
9. Цепляев В. А. Теоретическое обоснование технологии ухода за посевами. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 2 (66). С. 314–320.
10. Цепляев В. А., Матасов А. Н., Цепляев А. Н. Агрегат для удаления сорняков методом теребления. Сельский механизатор. 2014. № 9. С. 8-9.

11. Matasov A. N., Tseplyaev A. N., Ulyanov M. V., et al. Analytical Determination of Technological Parameters in the Work of a Self-driving Machine for Soil Loosening and Weeds Removing. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 206. Pp. 1079-1085.

12. Shaprov M., Admaeva A., Azimova S., Kizatova M., Nazymbekova A., Tlevlessova D., Kairbayeva A. Means of mechanization and technologies for melons processing. Kharkiv, 61165.

13. Coleman G. R. Y., Stead A., Rigger M. P., Xu Z., Brooker G. M., Sukkarieh S., Walsh M. J. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control. Weed Technology. 2019. Vol. 33. Is. 4. Pp. 633-650.

14. Ovchinnikov A. S., Tseplyaev A. N., Shaprov M. N., Ul'yanov M. V., Poltornykin S. S., Sedov A. V., Tseplyaev V. A., Slavutsky V. M., Berdyshev V. E., Bocharnikov V. S., Borisenko I. B., Grigorov S. M., Fomin S. D., Ol'garenko V. The choice of technology of agricultural crops cultivation on the basis of the manual labor costs indicator optimization (for the example of vegetable and melon crops cultivation). ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V. 14. № 22. P. 3897.

References

1. Aldoshin N. V., Mamatov F. M., Ismailov I. I. Means of mechanization for tillage in melons. Machinery and equipment for the village. 2021. № 2 (284). Pp. 12-15.

2. Bayrambekov Sh. B., Boeva T. V., Sokolov A. S. The main elements of the technology of cultivation of melons. Plant protection and quarantine. 2020. № 4. Pp. 31-35.

3. Medvedkov E. B., Nazymbekova A. E., Shaprov M. N., Tlevlessova D. A., Shambulov E. D., Kairbaeva A. E. Measurement of mechanical properties of watermelon fruits. Modern aspects of the production and processing of agricultural products: a collection of articles based on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference. Krasnodar: KubGAU, 2020. Pp. 339-344.

4. Klochkov A. V. Mechanical and physical methods of weed control. Our agriculture. Belarusian State Agricultural Academy. 2020. № 17 (241). Pp. 84-89.

5. Ovchinnikov A. S., Tseplyaev A. N., Shaprov M. N., et al. A complex of modern modernized machines and their working bodies for the mechanization of melons. Volgograd: Volgograd GAU, 2018. 228 p.

6. Listopad I. A. Planning an experiment in research on the mechanization of agricultural production M.: Agropromizdat, 1988. 88 p.

7. Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. Working body for inter-row tillage. Rural machine operator. 2022. № 10. P. 8.

8. Oreshkina M. V., Krygina E. E., Krygin S. E. Study of some physical and mechanical properties of potato stems. Bulletin of RGATU. 2020. № 2 (46). Pp. 80-85.

9. Tseplyaev V. A. Theoretical justification of the technology of crop care. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex. 2022. № 2 (66). Pp. 314-320.

10. Tseplyaev V. A., Matasov A. N., Tseplyaev A. N. The unit for weed removal by thinning. Rural machine operator. 2014. № 9. Pp. 8-9.

11. Matasov A. N., Tseplyaev A. N., Ulyanov M. V., et al. Analytical Determination of Technological Parameters in the Work of a Self-driving Machine for Soil Loosening and Weeds Removing. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 206. Pp. 1079-1085.

12. Shaprov M., Admaeva A., Azimova S., Kizatova M., Nazymbekova A., Tlevlessova D., Kairbayeva A. Means of mechanization and technologies for melons processing. Kharkiv, 61165/

13. Coleman G. R. Y., Stead A., Rigger M. P., Xu Z., Brooker G. M., Sukkarieh S., Walsh M. J. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control. Weed Technology. 2019. Vol. 33. Is. 4. Pp. 633-650.

14. Ovchinnikov A. S., Tseplyaev A. N., Shaprov M. N., Ul'yanov M. V., Poltornykin S. S., Sedov A. V., Tseplyaev V. A., Slavutsky V. M., Berdyshev V. E., Bocharnikov V. S., Borisenko I. B., Grigorov S. M., Fomin S. D., Ol'garenko V. The choice of technology of agricultural crops cultivation on the basis of the manual labor costs indicator optimization (for the example of vegetable and melon crops cultivation). ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V. 14. № 22. P. 3897.

Информация об авторах

Шапров Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru

Седов Алексей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), ORCID: 0000-0002-3896-5129, e-mail: sedov7020@yandex.ru

Мартынов Иван Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, д. 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ISMartynov@mail.ru

Бердышев Виктор Егорович, доктор технических наук, профессор, руководитель учебно-методического центра обеспечения подготовки кадров АПК, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. Тимирязева (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 58), e-mail: v.berdishev@rgau-msha.ru

Нехорошев Дмитрий Артёмович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технические системы в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т, Университетский, д. 26), e-mail: dmitr-nech@yandex.ru

Author's Information

Shaprov Mikhail Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Life Safety, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru

Sedov Aleksey Vasilievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Operation and Technical Service of Machines in the Agro-Industrial Complex Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: 0000-0002-3896-5129, e-mail: sedov7020@yandex.ru

Martynov Ivan Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Life Safety, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ISMartynov@mail.ru

Berdyshev Viktor Egorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Educational and Methodological Center for Ensuring Personnel Training of the Agro-Industrial Complex of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Agrarian University - Timiryazev Moscow State Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya St., 58, building 325), e-mail: v.berdishev@rgau-msha.ru

Nekhoroshev Dmitry Artemovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of "Technical Systems in Agriculture", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26.), e-mail: dmitr-nech@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-47

BIOMEDICAL RESEARCH TO STUDY THE EFFECT ON THE LIPID LEVEL OF VEGETABLE OIL WITH A REDUCED CONTENT OF GLYCIDYL ESTERS

A. B. Sarshaev¹, A. B. Dalabayev², N. E. Alzhaxina²

¹Taraz Regional University named after M. Kh. Dulaty
Taraz, Kazakhstan

²Astana branch of LLP «Kazakh research institute of processing and food industry»
Almaty, Kazakhstan

Corresponding author E-mail: aliya.sarshayeva@bk.ru

Received 30.06.2023

Submitted 10.11.2023

The research was carried out within the framework of the scientific and technical program of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan for 2021-2023 BR10764977 "Development of modern technologies for the production of dietary supplements, enzymes, starter cultures, starch, oils, etc. in order to ensure the development of the food industry"

Summary

According to the results of biomedical studies, it was found that the consumption of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters and standard vegetable oil leads to unidirectional changes in the body of laboratory animals – the relative weight of the liver increases, the phenomena of dystrophy and multifocal necrosis of hepatocytes are observed, the level of triglycerides increases when twin hyperlipidemia is induced.

Abstract

Introduction. The article examines the effect on the lipid level of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters in comparison with standard vegetable oil. These objects were fed to outbred Wistar laboratory rats for 1 month (30 days). A total of 48 outbred male Wistar laboratory rats were used in the experiment. There are 16 animals in each study group. **Materials and methods.** In both study groups that received vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters and standard vegetable oil, the absolute figures of the background content of total cholesterol, low-density lipoproteins and the atherogenicity index slightly increased compared to animals that received standard complete feed, however, these differences are statistically unreliable. The background level of triglycerides does not differ in all the studied groups. **Results and conclusions.** The presented results indicate that there is a statistically significant increase in the level of triglycerides in both study groups compared to animals receiving standard full-fledged feed. In all the studied groups, the total cholesterol content remains at the same level. In both groups studied, the absolute figures of the background content of low-density lipoproteins and the atherogenicity index slightly increased compared to animals receiving standard full-fledged feed, however, these differences are statistically unreliable, as evidenced by the significance levels of p. Thus, according to the results of biomedical studies, it was found that the consumption of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters and standard vegetable oil leads to unidirectional changes in the body of laboratory animals – the relative weight of the liver increases, the phenomena of dystrophy and multifocal necrosis of hepatocytes are observed, the level of triglycerides increases when twin hyperlipidemia is induced.

Key words: vegetable oils, lipids, glycidyl esters, triglycerides, atherogenicity index.

Citation. Dalabayev A. B., Alzhaxina N. E., Sarshaeva A. B. Biomedical research to study the effect on the lipid level of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 470-479 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-47.

The 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 that there is no conflict of interest.

УДК 665.1.09

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ НА УРОВЕНЬ ЛИПИДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА СО СНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ГЛИЦИДИЛОВЫХ ЭФИРОВ

А. Б. Саршаева¹, PhD-докторант, преподаватель

А. Б. Далабаев², магистр техники и технологии, главный научный сотрудник

Н. Е. Альжаксина², PhD, главный научный сотрудник

¹Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати

²Астанинский филиал ТОО "Казахский научно-исследовательский институт
перерабатывающей и пищевой промышленности"

г. Алматы, Казахстан

Исследования проводились в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021-2023 годы BR10764977 «Разработка современных технологий производства БАДов, ферментов, заквасок, крахмала, масел и др. в целях обеспечения развития пищевой промышленности»

Актуальность. В статье изучено влияние на уровень липидов растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров в сравнении со стандартным растительным маслом. Указанные объекты скармливали аутбредным лабораторным крысам Wistar в течение 1 месяца (30 дней). Всего было использовано в эксперименте 48 аутбредных лабораторных крыс самцов Wistar. В каждой исследуемой группе по 16 животных. **Материалы и методы.** В

обеих исследуемых группах, получавших растительное масло со сниженным содержанием глицидиловых эфиров и стандартное растительное масло, несколько увеличиваются абсолютные цифры фонового содержания общего холестерина, липопротеидов низкой плотности и индекса атерогенности по сравнению с животными, получавшими стандартный полнорационный корм, однако эти отличия носят статистически недостоверный характер. Фоновый уровень триглицеридов не отличается во всех исследуемых группах. **Результаты.** Представленные результаты указывают на то, что в обеих исследуемых группах статистически достоверно происходит увеличение уровня триглицеридов по сравнению с животными, получавшими стандартный полнорационный корм. Во всех исследованных группах содержание общего холестерина остается на одинаковом уровне. В обеих исследуемых группах несколько увеличиваются абсолютные цифры фонового содержания липопротеидов низкой плотности и индекса атерогенности по сравнению с животными, получавшими стандартный полнорационный корм, однако эти отличия носят статистически недостоверный характер, о чем свидетельствуют уровни значимости p . По результатам медико-биологических исследований установлено, что потребление растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров и стандартного растительного масла приводит к однонаправленным изменениям в организме лабораторных животных – увеличивается относительная масса печени, наблюдаются явления дистрофии и мультифокальных некрозов гепатоцитов, растет уровень триглицеридов при индуцировании твиновой гиперлипидемии.

Ключевые слова: растительные масла, липиды, глицидиловые эфиры, триглицериды, индекс атерогенности.

Цитирование. Далабаев А. Б., Альжаксина Н. Е., Саршаева А. Б. Медико-биологические исследования по изучению влияния на уровень липидов растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 470-479. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-47.

Вклад авторов. 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. Образование потенциально канцерогенных токсичных соединений во время обработки пищевых продуктов признано важной проблемой безопасности пищевых продуктов. Из этих токсичных соединений особое внимание привлекли глицидиловые эфиры, которые могут образовываться при рафинировании растительных масел, особенно пальмового масла и некоторых обработанных пищевых продуктов. Из-за своей токсичности и канцерогенности эти вещества могут представлять опасность для здоровья некоторых групп населения.

Этерифицированные формы глицидола представляют собой группу технологических загрязнителей, которые возникают во время обработки растительного масла, особенно на этапах рафинации с использованием высоких температур. Глицидол — органическое соединение, структура которого характеризуется наличием в молекуле глицерина эпоксидных и спиртовых функциональных групп. Эти вещества привлекли внимание всего мира, потому что их свободные формы оказались токсичными и канцерогенными на животных моделях.

В последние годы большое количество глицидиловых эфиров было обнаружено в обработанных пищевых продуктах и пищевых маслах. Самые высокие концентрации этих загрязняющих веществ наблюдались в пальмовом масле, но и другие растительные масла, такие как пальмоядровое масло, кукурузное масло и кокосовое масло, также присутствовали в значительных количествах. Кроме того, высокие концентрации были обнаружены в продуктах питания, в которых используются рафинированные масла, таких как детские смеси, печенье, крекеры и картофельные чипсы.

Эти соединения не присутствуют в исходном сырье, но могут образовываться в результате химических реакций при высоких температурах, таких как те, которые используются на стадии дезодорации в процессе очистки масла. При температуре выше 140°C в рафинированных маслах можно обнаружить некоторые количества этих загрязняющих веществ. В зависимости от типа масла этап дезодорации требует высоких температур (180-270°C) для удаления свободных жирных кислот и других соединений, важных для образования этих загрязняющих веществ. Было обнаружено, что другие факторы играют важную роль в загрязнении рафинированных масел, такие как присутствие потенциальных прекурсоров, включая хлорированные соединения и неполные ацилглицеролы.

Таким образом, целью данного исследования было изучение влияния растительных масел с пониженным содержанием глицидиловых эфиров по сравнению со стандартными растительными маслами на уровень липидов.

Материалы и методы. Исследования проводились согласно «Правилам проведения доклинических исследований, медико-биологических экспериментов и клинических испытаний в Республике Казахстан», утвержденным приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 25 июля 2007 года № 442 в соответствии с Госстандартом Республики Казахстан «Надлежащая лабораторная практика. Основные положения», утвержденным приказами министра индустрии и торговли РК от 29 декабря 2006 года №575 и №557 [3-5]. В исследовании учитываются рекомендации, изложенные в «Руководстве по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» [1, 2].

Объекты исследований:

Исследуемая группа 1 – скормливание растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров, смешанного со стандартным полнорационным кормом. Содержание растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров в корме составило 20%.

Исследуемая группа 2 – скормливание стандартного растительного масла, смешанного со стандартным полнорационным кормом. Содержание стандартного растительного масла в корме составило 20%.

Исследуемая группа 3 – интактная группа, потребляющая стандартный полнорационный корм.

После 30-дневного скормливания исследуемых объектов у половины лабораторных животных (24 особи, по 8 животных в группе) был осуществлен забор крови для определения фонового содержания липидов (общий холестерин, липопротеиды высокой и низкой плотности, триглицериды). Забор крови был осуществлен после эвтаназии лабораторных животных путем передозировки CO₂, с помощью вакутейнера с ЭДТА из задней поллой вены крысы. Кроме того, у данных лабораторных животных извлекали печень и определяли абсолютную и относительную массу печени. Доли печени от трех лабораторных животных из каждой исследуемой группы фиксировали в 10% формалине, после чего проводили патоморфологическое исследование. Патоморфологическое исследование осуществлялось при помощи микроскопа Axioskop 40, Carl Zeiss, Germany, при общем увеличении ×100 и ×200. Гистологические препараты окрашивались гематоксилином и эозином.

Второй половине животных (24 особи, по 8 животных в группе) воспроизводили твиновую гиперлипидемию, в результате чего быстро увеличивается уровень липидов в крови, особенно триглицеридов. Твиновую гиперлипидемию воспроизводили путем внутривенного введения Твина-80 в дозе 200 мг/100 г массы тела лабораторных

крыс [1, 2]. После воспроизведения твиновой гиперлипидемии через 10 часов у лабораторных животных был осуществлен забор крови для определения содержания липидов (общий холестерин, липопротеиды высокой и низкой плотности, триглицериды). Забор крови будет осуществлен после эвтаназии лабораторных животных путем передозировки CO₂, с помощью вакутейнера с ЭДТА из задней полый вены крысы.

Измеряемые в ходе исследования параметры: еженедельная оценка прироста массы тела лабораторных животных, биохимический анализ крови (общий холестерин, липопротеиды высокой и низкой плотности, триглицериды), абсолютная и относительная масса печени лабораторных животных.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы Microsoft Excel 2010. Распределения описывались средним и ошибкой среднего значения. Межгрупповые отличия оценивали непараметрическим критерием Mann-Whitney U-test [6-8].

Результаты и обсуждение. Результаты влияния исследуемых объектов на динамику массы тела лабораторных крыс представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Влияние растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров в сравнении со стандартным растительным маслом на массу тела лабораторных крыс при скормливания исследуемых объектов в течение месяца
Table 1 – The effect of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters in comparison with standard vegetable oil on the body weight of laboratory rats when feeding the studied objects for a month

Время измерения исследуемого параметра	Масса тела крыс, г		
	Растительное масло со сниженным глицидиловых эфиров, n=16	Стандартное растительное масло, n=16	Стандартный полнорационный корм, n=16
Исходно	170,6±7,2 p1=0,6630 p2=0,8075	173,0±6,8 p1=0,8750	174,3±4,4
Через 1 неделю	189,0±7,6 p1=0,0136 p2=0,8467	191,2±8,0 p1=0,0282	213,5±5,4
Через 2 недели	208,1±8,2 p1=0,0034 p2=0,7467	212,0±9,0 p1=0,0121	243,2±7,4
Через 3 недели	224,1±8,7 p1=0,0008 p2=0,6456	229,7±8,2 p1=0,0021	269,6±8,5
Через 4 недели	233,0±7,9 p1=0,0003 p2=0,4942	241,0±8,3 p1=0,0021	279,2±7,8

Представленные в таблице 1 и на рисунке 1 результаты указывают на то, что прирост массы тела в обеих исследуемых группах отстает от прироста массы тела животных на стандартном полнорационном корме. Динамика массы тела в группе животных, потреблявшей растительное масло со сниженным содержанием глицидиловых эфиров, не отличается от прироста массы тела в группе животных, получавших стандартное растительное масло. Отставание в приросте массы тела от группы животных, получавших стандартный полнорационный корм, может быть связано с худшей потребляемостью корма, содержащего высокие концентрации растительного масла.

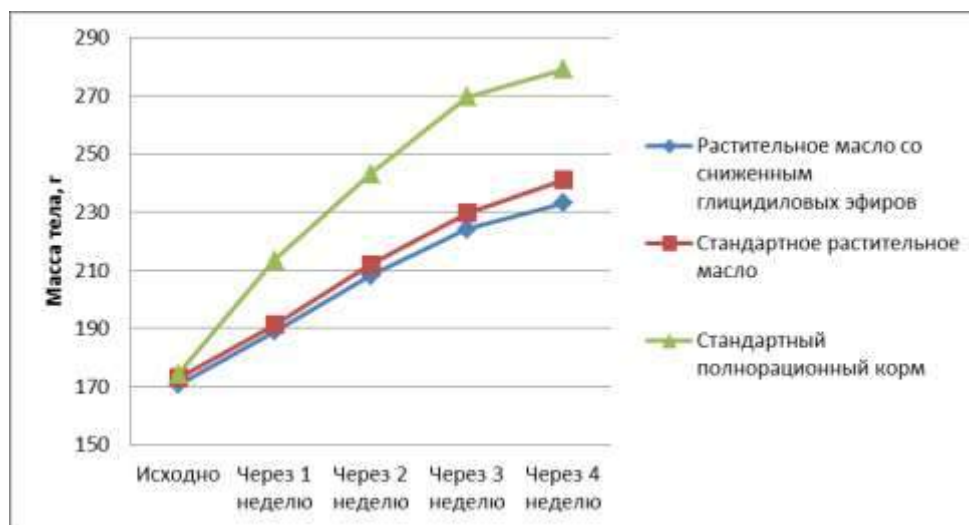


Рисунок 1 – Динамика массы тела лабораторных крыс при различных рационах питания

Figure 1 – Body weight dynamics of laboratory rats across diets

Результаты влияния исследуемых объектов на абсолютную и относительную массу печени лабораторных крыс представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров в сравнении со стандартным растительным маслом на абсолютную и относительную массу печени лабораторных крыс

Table 2 – The effect of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters in comparison with standard vegetable oil on the absolute and relative liver weight of laboratory rats

Исследуемый параметр	Растительное масло со сниженным содержанием глицидиловых эфиров, n=8	Стандартное растительное масло, n=8	Стандартный полнорационный корм, n=8
Абсолютная масса печени, г	11,2±0,47 p1=0,9028 p2=0,6776	10,9±0,37 p1=0,6073	11,3±0,54
Относительная масса печени, %	4,77±0,03 p1=0,00000016 p2=0,052	4,53±0,11 p1=0,00015	3,78±0,10

Представленные в таблице 2 результаты указывают на то, что в обеих исследуемых группах увеличивается относительная масса печени лабораторных животных по сравнению с группой животных, потреблявших стандартный полнорационный корм, уровень значимости $p < 0,05$ в обеих группах. При этом относительная масса печени животных, потреблявших растительное масло со сниженным содержанием глицидиловых эфиров, статистически достоверно не отличается от относительной массы печени животных, потреблявших стандартное растительное масло ($p = 0,052$).

Результаты влияния исследуемых объектов на фоновое содержание липидов (общий холестерин, липопротеиды высокой и низкой плотности, триглицериды, индекс атерогенности) в плазме крови лабораторных крыс представлены в таблице 3.

Представленные в таблице 3 результаты указывают на то, что в обеих исследуемых группах несколько увеличиваются абсолютные цифры фоновое содержание общего холестерина, липопротеидов низкой плотности и индекса атерогенности по сравнению с животными, получавшими стандартный полнорационный корм, однако эти отличия носят статистически недостоверный характер, о чем свидетельствуют уровни значимости p . Фоновый уровень триглицеридов не отличается во всех исследуемых группах.

Таблица 3 – Влияние растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров в сравнении со стандартным растительным маслом на фоновое содержание липидов
Table 3 – Effect of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters in comparison with standard vegetable oil on the background lipid content

Исследуемый параметр	Растительное масло со сниженным содержанием глицидиловых эфиров, n=8	Стандартное растительное масло, n=8	Стандартный полнорационный корм, n=8
Триглицериды, ммоль/л	0,33±0,08 p1=0,9445 p2=0,9673	0,33±0,04 p1=0,8629	0,34±0,04
Общий холестерин, ммоль/л	1,56±0,07 p1=0,3763 p2=0,9560	1,57±0,13 p1=0,4301	1,41±0,15
ЛПВП, ммоль/л	1,18±0,06 p1=0,2462 p2=0,4602	1,12±0,06 p1=0,7927	1,10±0,04
ЛПНП, ммоль/л	0,38±0,09 p1=0,7014 p2=0,6624	0,45±0,13 p1=0,4918	0,31±0,15
Индекс атерогенности	0,34±0,10 p1=0,7605 p2=0,6735	0,41±0,12 p1=0,5223	0,29±0,14

Результаты влияния исследуемых объектов на содержание липидов (общий холестерин, липопротеиды высокой и низкой плотности, триглицериды, индекс атерогенности) при стимулированной твином гиперлипидемии в плазме крови лабораторных крыс представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров в сравнении со стандартным растительным маслом на содержание липидов
Table 4 – Effect of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters in comparison with standard vegetable oil on the lipid content

Исследуемый параметр	Масложировой продукт со сниженным содержанием трансизомеров жирных кислот, n=8	Стандартный масложировой продукт, n=8	Стандартный полнорационный корм, n=8
Триглицериды, ммоль/л	1,08±0,09 p1=0,0174 p2=0,7975	1,04±0,12 p1=0,0467	0,65±0,13
Общий холестерин, ммоль/л	1,97±0,12 p1=0,9271 p2=0,5307	1,88±0,09 p1=0,7094	1,95±0,18
ЛПВП, ммоль/л	0,66±0,04 p1=0,0874 p2=0,7684	0,63±0,09 p1=0,1843	0,77±0,05
ЛПНП, ммоль/л	1,32±0,11 p1=0,4885 p2=0,6829	1,25±0,11 p1=0,7296	1,18±0,15
Индекс атерогенности	2,06±0,20 p1=0,0867 p2=0,4333	2,69±0,76 p1=0,1668	1,55±0,19

Из таблицы 4 видно, что при индуцировании твиновой гиперлипидемии наблюдаем у животных на стандартном полнорационном корме в сравнении с фоновым содержанием липидов почти двукратное увеличение уровня триглицеридов, на 38% растет содержание общего холестерина, в 3,8 раза увеличивается содержание в плазме

крови липопротеидов низкой плотности, в 5 раз увеличивается индекс атерогенности, содержание липопротеидов высокой плотности, напротив, уменьшается на 30% по сравнению с фоновыми цифрами. Таким образом, модель твиновой гиперлипидемии нами воспроизведена адекватно.

Заключение. Таким образом, по результатам медико-биологических исследований установлено, что потребление растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров и стандартного растительного масла приводит к однонаправленным изменениям в организме лабораторных животных – увеличивается относительная масса печени, наблюдаются явления дистрофии и мультифокальных некрозов гепатоцитов, растёт уровень триглицеридов при индуцировании твиновой гиперлипидемии.

Conclusions. Thus, according to the results of biomedical studies, it was found that the consumption of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters and standard vegetable oil leads to unidirectional changes in the body of laboratory animals – the relative weight of the liver increases, the phenomena of dystrophy and multifocal necrosis of hepatocytes are observed, the level of triglycerides increases when inducing tween hyperlipidemia.

Библиографический список

1. Адашев Б. Ш., Абдурахимов С. А., Ходжаев С. Ф. Анализ состава и свойств, осветленных светлых растительных масел с использованием местных глин. *Universum: Технические науки*. 2021. № 6 (87).
2. Салиханова Д. С., Исмоилова М. А., Сагдуллаева Д. С., Адашев Б. Ш., Кадилова Н. Б. Факторы, влияющие на процесс эмульгирования водно-жировых эмульсий. *ФарПИ илимий-техника журналы*. 2022. № 14. С. 64-68.
3. Смоленский И. В., Притворова А. В., Ордян Н. Э. Влияние пренатального стресса на окислительные модификации белков и активность супероксиддисмутазы в мозге и плазме крови самцов крыс в модели посттравматического стрессового расстройства. *Российский физиол. журнал им. И. М. Сеченова*. 2018. Т. 104. № 11. С. 1356-1367.
4. Сачивко Т. В. и др. Генетические ресурсы растений. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. 22 с.
5. Нилова Л. П., Пилипенко Т. В., Потороко И. Ю. Токоферолы и токотриенолы: свойства, функции, природные источники. Аналитический обзор. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2021. Т. 9. № 1. С. 68-81.
6. Школьников М. Н., Аверьянова Е. В., Рожнов Е. Д. и др. Исследование антибактериальной активности флавоноидов облепихового шрота. *Индустрия питания|Food Industry*. 2020. Т. 5. № 3. С. 61-69.
7. Самойлова Ю. Г., Олейник О. А., Саган Е. В., Денисов Н. С., Филиппова Т. А., Подчиненова Д. В. Роль полиненасыщенных жирных кислот в протекции сердечно-сосудистых заболеваний у детей, страдающих ожирением. *Современные проблемы науки и образования*. 2019. N 6. С. 189.
8. Титов В. Н., Иванов Г. А., Антонов А. М. Лауриновая жирная кислота, среднецепочечные триглицериды, позитивное действие при синдроме резистентности к инсулину, дегенеративной патологии нейронов, атеросклерозе и атероматозе. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2019. Т. 64 (2). С. 68-77.
9. Орлова С. Ю., Юшев А. А., Шеленга Т. В. Химический состав плодов черемухи в условиях Северо-Западного региона России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. №2. С. 65-72.
10. Вострикова Н. Л., Кузнецова О. А., Куликовский А. В. Методические аспекты извлечения липидов из биологических матриц. Теория и практика переработки мяса. 2018. № 3 (2). С. 4-21.
11. Ивахнов А. Д., Садкова К. С., Собашникова А. С., Скребец Т. Э., Богданов М. В. Получение масла из ягод морошки экстракцией сверхкритическим диоксидом углерода. *Химия растительного сырья*. 2019. № 2. С. 91-97.

12. Ishak I., Hussain N., Coorey R., Ghani M.A. Optimization and characterization of chia seed (*Salvia hispanica* L.) oil extraction using supercritical carbon dioxide. *Journal of CO2 Utilization*. 2021. Vol. 45. 101430.

13. Хвиюзова К. А., Богданович Н. И., Воропаева Н. Л., Карпачев В. В. Активные угли, полученные методом термохимической активации соломы рапса. *Химия растительного сырья*. 2020. № 1. С. 337-346.

14. Скребец Т. Э., Ивахнов А. Д., Маматмуродов Х. Б. Оптимизация извлечения масла черемухи методом сверхкритической флюидной экстракции. *Химия растительного сырья*. 2022. № 2. С. 279-285.

15. Babatunde O. O., Park C. S., Adeola O. Nutritional potentials of atypical feed ingredients for broiler chickens and pigs. *Animals (Basel)*. 2021. V. 11 (5). 1196.

References

1. Adashev B. Sh., Abdurakhimov S. A., Khojaev S. F. Analysis of the composition and properties of clarified light vegetable oils using local clays. *Universum: Technical sciences*. 2021. № 6 (87).

2. Salikhanova D. S., Ismoilova M. A., Sagdullaeva D. S., Adashev B. S., Kadirova N. B. Factors affecting the process of emulsification of water-fat emulsions. *FarPI ilmium-technique magazines*. 2022. № 14. Pp. 64-68.

3. Smolensky I. V., Shymanova A. V., Ordyan N. E. Effects of prenatal stress on oxidative protein modifications and superoxide dismutase activity in the brain and plasma of male rats in a PTSD model. *Russian Physiol. journal named after I.M. Sechenov*. 2018. V. 104. № 11. Pp. 1356-1367.

4. Sachivko T. V. et al. Plant genetic resources. Spicy aromatic and essential oilseeds. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy, 2021. 22 p.

5. Nilova L. P., Pilipenko T. V., Potoroko I. Yu. Tocopherols and tocotrienols: properties, functions, natural sources. Analytical review. *Bulletin of SUSU. Food and Biotechnology Series*. 2021. V. 9. № 1. Pp. 68-81.

6. Shkolnikova M. N., Averyanova E. V., Rozhnov E. D., etc. Investigation of antibacterial activity of sea buckthorn meal flavonoids. *Food Industry*. 2020. V. 5. № 3. Pp. 61-69.

7. Samoilova Yu. G., Oleinik O. A., Sagan E.V., Denisov N. S., Filippova T. A., Podvenova D.V. Role of polyunsaturated fatty acids in the protection of cardiovascular diseases in obese children. *Modern problems of science and education*. 2019. N 6. P. 189.

8. Titov V. N., Ivanov G. A., Antonov A. M. Lauric fatty acid, medium-chain triglycerides, positive effect in insulin resistance syndrome, degenerative neuronal pathology, atherosclerosis and atheromatosis. *Clinical laboratory diagnostics*. 2019. V. 64 (2). Pp. 68-77.

9. Orlova S. Yu., Yushev A. A., Shelenga T. V. Chemical composition of bird cherry fruits in the North-West region of Russia. *Works on applied botany, genetics and selection*. 2020. V. 181. № 2. Pp. 65-72.

10. Vostrikova N. L., Kuznetsova O. A., Kulikovskiy A. V. Methodical aspects of lipid extraction from biological matrices. *Meat processing theory and practice*. 2018. № 3 (2). Pp. 4-21.

11. Ivakhnov A. D., Sadkova K. S., Sobashnikova A. S., Skrebets T. E., Bogdanov M. V. Obtaining oil from cloudberry berries by extraction with supercritical carbon dioxide. *Chemistry of plant raw materials*. 2019. № 2. Pp. 91-97.

12. Ishak I., Hussain N., Coorey R., Ghani M.A. Optimization and characterization of chia seed (*Salvia hispanica* L.) oil extraction using supercritical carbon dioxide. *Journal of CO2 Utilization*. 2021. Vol. 45. 101430.

13. Khviyuzova K. A., Bogdanovich N. I., Voropaeva N. L., Karpachev V. V. Active coals obtained by thermochemical activation of rapeseed straw. *Chemistry of plant raw materials*. 2020. № 1. Pp. 337-346.

14. Skrebets T. E., Ivakhnov A. D., Mamatmurodov H. B. Optimization of bird cherry oil extraction by supercritical fluid extraction. *Chemistry of plant raw materials*. 2022. № 2. Pp. 279-285.

15. Babatunde O. O., Park C. S., Adeola O. Nutritional potentials of atypical feed ingredients for broiler chickens and pigs. *Animals (Basel)*. 2021. V. 11 (5). 1196.

Информация об авторах

Саршаева Алия Батырбековна, PhD-докторант, преподаватель Таразского регионального университета им. М. Х. Дулати (Казахстан, 080000, г. Тараз, ул. Сулейменова, д. 7), e-mail: aliya.sarshayeva@bk.ru

Далабаев Асхат Болатулы, магистр техники и технологии, главный научный сотрудник, Астанинский филиал ТОО "Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности" (Казахстан, 050060, г. Алматы, пр. Гагарина, д. 238 Г), e-mail: dalabaev_askhat@mail.ru

Альжаксина Назым Ерболовна, PhD, главный научный сотрудник, Астанинский филиал ТОО "Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности" (Казахстан, 050060, г. Алматы, пр. Гагарина, д. 238 Г), e-mail: nazjomka@mail.ru

Author's Information

Sarshaeva Aliya Batyrbekovna, PhD doctoral student, lecturer at Taraz Regional University named after M. Kh. Dulati (Kazakhstan, 080000, Taraz, Suleimenova St., 7), e-mail: aliya.sarshayeva@bk.ru

Dalabayev Askhat Bolatuly, Master of Engineering and Technology, Chief Researcher, Astana Branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 050060, Almaty, pr. Gagarina, 238 G), e-mail: dalabaev_askhat@mail.ru

Alzhaksina Nazym Yerbolovna, PhD, Chief Researcher, Astana Branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 050060, Almaty, pr. Gagarina, 238 G), e-mail: nazjomka@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-48

**INCREASING THE FISH PRODUCTIVITY OF THE DON RIVER AND RATIONAL
USE OF WATER RESOURCES**

A. M. Anokhin, A. A. Tkachev, A. V. Stepkin

*Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of Don
State Agrarian University
Novocherkassk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: anocxin2014@yandex.ru

Received 17.08.2023

Submitted 08.11.2023

Summary

The article presents the signs of degradation of the river and fish stocks of the Don River on the example of the Kochetovsky hydroelectric complex and the consequences of irrational use of water resources on the work of reclamation systems of the Rostov region. The objective of this study of signs of degradation of the Don River is to focus attention on the growing problem of reducing water resources in the South of Russia.

Abstract

Introduction. Global climate change is currently beyond doubt and is an objective reality. On climate change and its consequences, it is necessary to take actions to assess risks and take measures in advance to reduce or prevent negative consequences. The signs of degradation of the river and fish stocks of the Don River are given on the example of the Kochetovsky hydroelectric complex and the consequences of irrational use of water resources on the work of reclamation systems of the Rostov region. The objective of this study of signs of degradation of the Don River is to focus attention on the growing problem of reducing water resources in the South of Russia. **Materials and methods.** In the course of the work, a comparative analysis of water levels and flows of the Don River in the lower reaches of the Kochetovsky hydroelectric complex over the past 50 years was carried out. Data from hydrological yearbooks on water levels in the Don River and on expenditures indicate significant changes in indicators for the worse. **Results and conclusions.** Proposals are formulated on the need to control such areas for the protection of water bodies as ensuring the reduction of anthropogenic load on water bodies, recommendations are given on the unhindered passage of all fish species to spawning sites and practical provision of rational use of water resources of the Tsimlyansk reservoir.

Key words: *fish productivity of rivers, annual flow, water regime, fish canals, hydrological yearbook.*

Citation. Anokhin A. M., Tkachev A. A., Stepkin A. V. Increasing the fish productivity of the Don river and rational use of water resources. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72).479-487 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-48.

Author's contribution. In the course of the work, the authors carried out a comparative analysis of the water levels and discharges of the Don rivers in the Indian pool of the Kochetovsky hydroelectric complex over the past 50 years.

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

УДК 626.8

УВЕЛИЧЕНИЕ РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ РЕКИ ДОН И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

А. М. Анохин, кандидат технических наук

А. А. Ткачев, доктор технических наук

А. В. Степкин, магистр

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова –
филиал ФГБОУ ВО Донской государственный аграрный университет
г. Новочеркасск, Российская Федерация*

Актуальность. Глобальные изменения климата в настоящее время не вызывают сомнения и являются объективной реальностью. На изменение климата и его последствий необходимо предпринимать действия по оценке рисков и заблаговременно принимать меры по уменьшению или предотвращению негативных последствий. Приведены признаки деградации реки и рыбных запасов реки Дон на примере Кочетовского гидроузла. Задачей данного исследования признаков деградации реки Дон является – сконцентрировать внимание на растущей проблеме уменьшения водных ресурсов Юга России. **Материалы и методы.** В процессе работы был выполнен сравнительный анализ уровней воды и расходов реки Дон в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла за последние 50 лет. Данные гидрологических ежегодников по уровням воды в реке Дон и по расходам указывают на значительные изменения показателей в худшую сторону. **Результаты и выводы.** Сформулированы предложения о необходимости контролировать такие направления по охране водных объектов, как обеспечение снижения антропогенной нагрузки на водные объекты, приведены рекомендации по беспрепятственному проходу всех видов рыб к местам нереста и практическое обеспечение рационального использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища.

Ключевые слова: *рыбопродуктивность рек, годовой сток, водный режим, рыбоходные каналы, гидрологический ежегодник.*

Цитирование. Анохин А. М., Ткачев А. А., Степкин А. В. Увеличение рыбопродуктивности реки Дон и рациональное использование водных ресурсов. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 479-487. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-48.

Авторский вклад. Авторами в процессе работы был выполнен сравнительный анализ уровней воды и расходов реки Дон в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла за последние 50 лет.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Климатическая доктрина Российской Федерации, утвержденная за номером №861-PW от 17 декабря 2009 года имеющая государственное значение, подчеркивает, что изменение климата и его последствия представляют собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации.

Доктрина предписывает необходимость предпринимать действия по оценке рисков и заблаговременного принятия мер по уменьшению или предотвращению негативных последствий изменения климата.

Глобальные изменения климата в настоящее время не вызывают сомнения и являются объективной реальностью [1, 2, 3].

В нашей статье мы остановимся на важном вопросе уменьшения водных ресурсов и рыбных запасов, которые констатируются на протяжении последних 20 лет на Юге России на примере реки Дон. Река Дон характерна для рек Юга России тем, что она зарегулирована гидроузлами и несет огромную антропогенную нагрузку в виде использования как транспортной артерии, так и забора воды на мелиорацию и водоснабжение (рисунок 1).

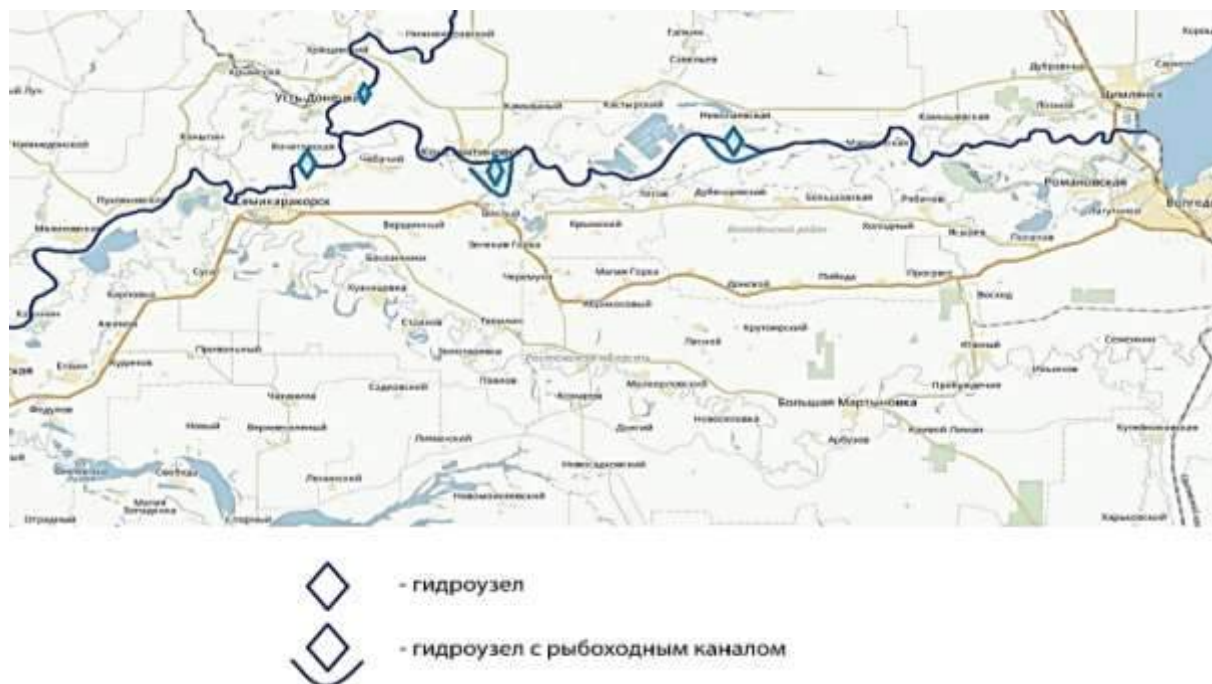


Рисунок 1 – Схема гидроузлов на реке Дон
Figure 1 – The scheme of water-engineering systems on the Don River

Материалы и методы. Фактологическую базу анализа составили данные многолетних наблюдений, зарегистрированных в Государственных водных кадастрах и данные уровней поверхности воды, зафиксированные и собранные на Кочетовском гидроузле [4, 5].

Климатические изменения, происходящие в последние десятилетия в бассейне Дона, влияют на величину годового стока, на особенности водного режима рек, рассматриваемой территории, объем и высоту весеннего половодья, сток во время летней и зимней межени, подземный сток.

Изменения указанных характеристик наблюдаются практически по всем створам р. Дон и его притокам. Одним из факторов изменения климата является изменение водности рек в сторону увеличения потребления воды и уменьшения стока [4, 5]. Для подтверждения деградации реки был выполнен анализ режима расходов воды реки Дон в створе ст. Раздорская. После строительства Цимлянского гидроузла максимальные расходы наблюдались в 1963 году $6320 \text{ м}^3/\text{с}$, в 1964 году $3410 \text{ м}^3/\text{с}$ и в 1991 году $3370 \text{ м}^3/\text{с}$. Ввод в эксплуатацию Цимлянского гидроузла вызвал существенные изменения параметров стока. Так, средний максимальный годовой расход воды за период с 1881 по 1952 годы составил $5606 \text{ м}^3/\text{с}$, а с 1952 года по 2003 года – $1669 \text{ м}^3/\text{с}$, то есть под воздействием техногенных факторов произошло уменьшение среднего максимального расхо-

да воды в 3.36 раза. Осредненные показатели изменения характерных расходов воды за период наблюдений с1952 по 2002 годы по сравнению с периодом с1936 по 1952 годами представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение осредненных характерных расходов воды за период 1952-2002 гг. по сравнению с периодом 1936-1952 гг.

Table 1 – Change in the average characteristic water consumption for the period 1952-2002 compared to the period 1936-1952

Наименование характерных расходов воды	Значение осредненных характерных расходов воды за периоды наблюдений		Кратность уменьшения (или увеличения) расхода под воздействием техногенных факторов	
	1936-1952 гг.	1952-2002 гг.	уменьшение	увеличение
Средний за год (обуславливает объем стока)	811	681	1,19	–
Средний максимальный за год	4888	1657	2,95	–

Огромную роль в перераспределении стока реки Дон играет Цимлянское водохранилище. Цимлянский гидроузел делит реку на естественное русло до Азовского моря и зарегулированное расположенное выше гидроузла. Но необходимо отметить то, что сток реки ниже гидроузла зарегулирован ввиду использования полезного объема Цимлянского водохранилища для мелиорации, транспорта, водоснабжения. Из-за такой нагрузки сбрасываемые расходы изменялись от 420 м³/с в 2015 году до 180 м³/с в 2020 году [5-7].

Как в изменении климата, так и в гибели рыбных запасов несомненную роль играют антропогенные факторы, влияющие на формирование водного режима реки Дон своей хозяйственной деятельностью.

Такое изменение водности реки, прежде всего, сказывается на условиях нереста и прохода рыб к нерестилищам. Низкие уровни оголяют берега, уменьшают глубины на нерестилищах, тем самым уменьшая нерестовые площади. Уже много лет остается открытым вопрос о нерестовых попусках расходов из Цимлянского водохранилища в весенний и осенний период, когда происходят нерестовые миграции многих видов рыб, обитающих в Азовском море [8-13].

Нерестовые попуски дают возможность мигрантам пройти Кочетовский гидроузел без помощи рыбопропускного шлюза, а Константиновский и Николаевский гидроузлы – по рыбоходным каналам (рисунок 1).

Результаты и обсуждение. Одной из главных мер по адаптации к изменениям климата, которая позволит восполнить рыбные запасы, является строительство эффективного рыбоходного канала на Кочетовском гидроузле. Строительство рыбоходного канала обеспечит открытую и свободную от подпорных сооружений дорогу рыбам, идущим на нерест от Азовского моря до Цимлянского гидроузла.

Кочетовский гидроузел расположен в среднем течении реки Дон и регулирует уровни реки для обеспечения движения судов.

В состав ооружений гидроузла входит съёмная плотина Пуарре, водосбросное сооружение, судоходные шлюзы и рыбопропускной шлюз (РПШ) (рисунок 2).

На гидроузле ежедневно снимают показания уровней верхнего и нижнего бьефов. При установленной плотине (устанавливают из условия поддержания отметок для судоходных глубин) верхний бьеф зарегулирован и имеет постоянную отметку, а нижний бьеф зависит от расходов, сбрасываемых Цимлянским гидроузлом (рисунок 3).



Рисунок 2 – Кочетовский гидроузел
Figure 2 – Kochetovsky water-engineering system

На рисунке 3 приведены отметки уровней воды нижнего бьефа Кочетовского гидроузла за 2019-2020 гг.

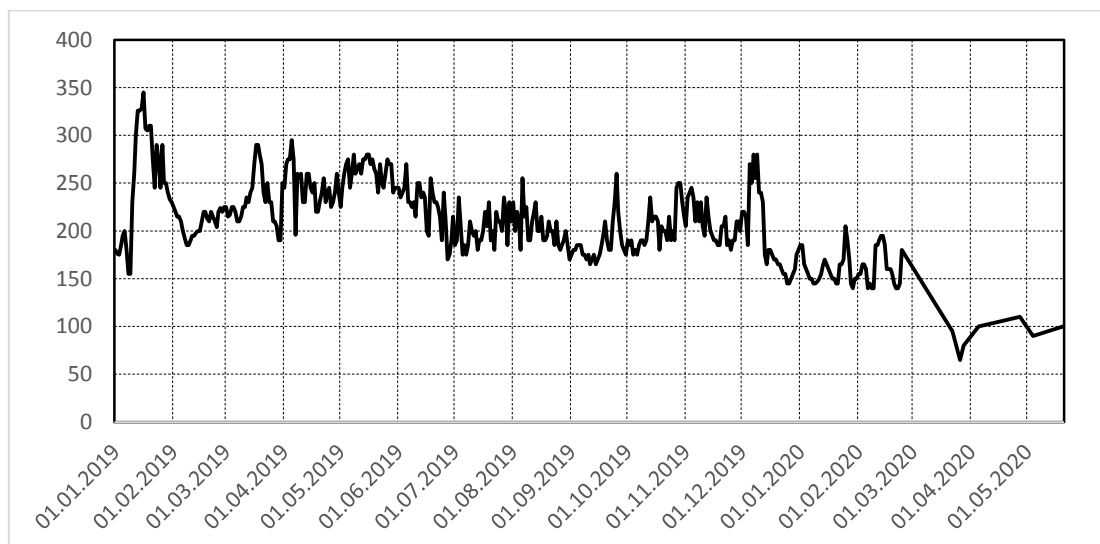


Рисунок 3 – Кривая отметок уровней нижнего бьефа Кочетовского гидроузла по датам 2019-2020 годов
Figure 3 – Curve of the marks of the levels of the lower reaches of the Kochetovsky water-engineering system, 2019-2020

На протяжении многих лет уровни в нижнем бьефе гидроузла колебались в пределах проектных глубин от 1.80 м до 2.50 м, рассчитанных для лотка-накопителя РПШ и позволяющих регулировать процесс накопления рыбы в сооружение. Процесс поддержания уровней воды в реке обеспечивался сбросными расходами Цимлянского гид-

роузла в пределах 320-450 м³/с. Значительное изменение климатических условий бассейна реки Дон, использование ресурсов Цимлянского водохранилища и зарегулированность водосборной площади реки привело к значительному падению сбрасываемых расходов до 180 м³/с.

Уровни воды в нижнем бьефе упали до глубин от 0.80 до 1.1 м. Глубины на пороге лотка накопителя РПШ при отметке 0.50 м не позволяют расходам при глубине 0.30-0.60 м создавать привлекающие скорости и обеспечивать работоспособность сооружения.

Таким образом, гидрологические условия 2020 года не позволили на Кочетовском гидроузле обеспечить проход рыб на нерест вверх по течению. При дальнейшем развитии постоянного недостатка стока реки Дон будет происходить уменьшение объёма нерестовых миграций и падение количественного и видового состава рыбных запасов Азово-Черноморского региона.

Такое развитие ситуации с уровнями реки Дон повлияет на работоспособность рыбопропускных сооружений строящегося Багаевского гидроузла. Все отметки нижних бьефов рыбопропускного шлюза и рыбоходно-нерестового канала взяты по наблюдениям последних 50-ти лет и с подобными изменениями уровней в весенней период проектировщики не сталкивались. Если сейчас не внести корректировки в проект гидроузла в дальнейшем будут построены заранее неэффективные сооружения или не работающие совсем.

Заключение. Задачи планирования мер по адаптации к изменениям климата предусматривают комплексность мероприятий по сохранению и преумножению рыбных запасов и аквакультур. Поэтому необходимо включить в меры по адаптации обеспечение пропуска мигрантов на нерест через гидроузлы и увеличение количества рыбоводных заводов, которые должны обеспечивать ежегодное пополнение рыбных запасов реки Дон молодью различных видов рыб.

Рыбоводные предприятия, обеспечивающие плановый выпуск товарной рыбы, не должны замыкаться на этой деятельности, а с финансовой поддержкой государственными органами и Минприроды участвовать в выращивании молоди, тем более что опыт по компенсационным выпускам у всех есть [14, 15, 16].

Для заинтересованности рыбоводных предприятий необходимо развернуть программу, которая обеспечит финансирование проводимых мероприятий и связь бизнеса и государственных структур. В эти программы органично впишется научное обеспечение процесса разработки и научного обоснования принятия решений со стороны научно-исследовательских организаций. Научное обеспечение должно работать на основе исследований, мониторинга накопления материалов, чтобы представить научно-обоснованные меры по развитию рыбоводных хозяйств [17].

Необходимо контролировать такие направления по охране водных объектов, как:

- снижение антропогенной нагрузки на водные объекты (Донской магистральный канал забирает 100 м³/с, а сброс реки Дон из того же Цимлянского водохранилища составляет 250-280 м³/с, что несовместимо с нормальными условиями эксплуатации водохранилища);
- обеспечение беспрепятственного прохода всех видов рыб к местам нереста путем строительства рыбоходного канала на Кочетовском гидроузле и защиту молоди на всем пути движения к местам нагула [17];
- развитие технического регулирования в области очистки сточных вод, экономическое стимулирование сокращения сбросов загрязняющих веществ;
- восстановление водных объектов, в том числе малых рек, и проточность оврагов на водосборной площади Цимлянского водохранилища и реки Дон;
- практическое обеспечение применения принципов экологического нормирования на основе законодательных документов по охране и восстановлению водных объектов.

Conclusions. The tasks of planning measures for adaptation to climate change provide for the complexity of measures for the conservation and multiplication of fish stocks and aquaculture. Therefore, it is necessary to include in adaptation measures the passage of migrants to spawn through waterworks and an increase in the number of fish hatcheries, which should ensure the annual replenishment of the fish stocks of the Don River with juveniles of various fish species.

Fish-breeding enterprises that ensure the planned production of commercial fish should not be confined to this activity, but with financial support from state bodies and the Ministry of Natural Resources to participate in the cultivation of juveniles. Moreover, everyone has experience in compensation issues [14, 15, 16].

For the interest of fish-breeding enterprises, it is necessary to deploy a program that will provide financing for the events and communication between business and government agencies. Scientific support of the process of development and scientific substantiation of decision-making by research organizations will organically fit into these programs. Scientific support should work on the basis of research, monitoring the accumulation of materials in order to present evidence-based measures for the development of fish farms [17].

It is necessary to monitor such areas for the protection of water bodies as:

- reducing the anthropogenic load on water bodies (the Don main canal takes 100 m³/s, and the discharge of the Don River from the same Tsimlyansk reservoir is 250-280 m³/s, which is incompatible with the operating conditions of the reservoir);
- ensuring unhindered passage of all types of fish to spawning sites by building a fish channel at the Kochetovsky hydroelectric complex and protecting juveniles all the way to feeding sites [17];
- development of technical regulation in the field of wastewater treatment, economic incentives to reduce emissions of pollutants;
- restoration of water bodies, including small rivers and the flow of ravines in the catchment area of the Tsimlyansk reservoir and the Don River;
- practical support for the application of the principles of environmental regulation on the basis of legislative documents on the protection and restoration of water bodies.

Библиографический список

1. О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов: ФЗ от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/.
2. Об охране окружающей природной среды: РФ ФЗ от 20.12.2001 г. № 7-ФЗ (с изм. от 18.12.2006 № 232 - ФЗ). Собр. закон-ва РФ. 2002. № 2. Ст. 133.
3. Wheeler T., Von Braun J. Climate change impacts on global food security. Science. 2013. V. 341. Pp. 508–513.
4. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1987. Разд. 1. Сер. 2. Вып. 3 Обнинск: ВНИИГМИ-МИД, 1989. 239 с.
5. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1987. Разд. 1. Сер. 3. Вып. 3. Обнинск: ВНИИГМИ-МИД, 1986. 560 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1964. Т. 8. 410 с.
7. Мелихов В. В., Зибаров А. А., Мелихова Н. П., Тегесов Д. С. Экологическое состояние орошаемых агроландшафтов локального мониторинга на Волго-Донском междуречье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 29-36.
8. Емтыль М. Х., Иваненко А. М. Рыбы юго-запада России. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2002. 340 с.
9. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Книга по Требованию, 2013. 246 с.
10. Решетников Ю. С., Попова О. А., Соколов Л. И. и др. Атлас пресноводных рыб России. Москва: Наука, 2002. Т. 2. 253 с.
11. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам: приказ Федерального Агентства по Рыболовству от 25.11.2011 г. № 1166. https://fish.gov.ru/wpcontent/uploads/documents/otraslevaya_deyatelnost/ohrana_vodnyh_bioresursov/npa-3.pdf.

12. Методические рекомендации по порядку рассмотрения и согласования органами рыбоохраны намечаемых решений и проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений: утв. Роскомрыболовством России 05.01.2003 г. № 12-04-03/3. <https://docs.cntd.ru/document/902071048>.

13. Reeves G. H., Benda L. E., Burnett K. M., Bisson P. A., Sedell J. R. A disturbance-based ecosystem approach to maintaining and restoring freshwater habitats of evolutionarily significant units of anadromous salmonids in the Pacific Northwest. American Fisheries Society Symposium. 1995. V. 17. Pp. 334-349.

14. Данилов-Данильян В. И., Хранович И. Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 232 с.

15. Мордвинцев М. М., Анохин А. М., Персикова Л. В. Восстановление рек и водоёмов: практикум для бакалавров направ. подготовки «Природообустройство и водопользование», «Строительство». Новочеркасск, 2017. 75 с.

16. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003. Москва: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. 75 с.

17. Fish Protection at Water Diversions. A Guide for Planning and Designing Fish Exclusion Facilities. Denver, Colorado: Department of the Interior, Bureau of Reclamation. 2016. 429 p.

References

1. On fishing and conservation of aquatic biological resources: Federal Law No. 166-FL of 20.12.2004. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/.

2. On Environmental Protection: RF Federal Law No. 7-FL dated 20.12.2001 (as amended from 18.12.2006 No. 232 - FL). Collection of law of the Russian Federation. 2002. № 2. Art. 133.

3. Wheeler T., Von Braun J. Climate change impacts on global food security. Science. 2013. V. 341. Pp. 508-513.

4. State Water Cadaster. Annual data on land surface water regime and resources. 1987. Section 1. Ser. 2. No. 3 Obninsk: VNIIGMI-MFA, 1989. 239 p.

5. State Water Cadaster. Annual data on land surface water regime and resources 1987. Section 1. ser. 3. No. 3. Obninsk: VNIIGMI-MFA, 1986. 560 p.

6. Surface water resources of the USSR. Hydrological knowledge. North Caucasus. L.: Hydrometeoizdat, 1964. V. 8. 410 p.

7. Melikhov V. V., Zibarov A. A., Melikhova N. P., Tegesov D. S. Ecological state of irrigated agroland shafts of local monitoring at the Volga-Don interfluv. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Vocational Education. 2018. № 4 (52). Pp. 29-36.

8. Emtyl M. Kh., Ivanenko A. M. Pisces of the south-west of Russia. Krasnodar: Kuban State University, 2002. 340 p.

9. Pravdin I. F. Guide to the study of fish. M.: Book on Demand, 2013. 246 p.

10. Reshetnikov Yu. S., Popova O. A., Sokolov L. I., etc. Freshwater Fish Atlas of Russia. Moscow: Science, 2002. V. 2. 253 p.

11. Procedure for calculating the amount of damage caused to aquatic biological resources: Order of the Federal Agency for Fisheries of 25.11.2011 No. 1166. https://fish.gov.ru/wpcontent/uploads/documents/otraslevaya_deyatelnost/ohrana_vodnyh_bioresurov/npa-3.pdf.

12. Methodological Recommendations on the Procedure for Consideration and Approval by the Fish Protection Authorities of the Planned Solutions and Design Documentation for the Construction of Enterprises, Buildings and Structures: approved by Roskomrybolovstvo of Russia 05.01.2003 No. 12-04-03/3. <https://docs.cntd.ru/document/902071048>.

13. Reeves G. H., Benda L. E., Burnett K. M., Bisson P. A., Sedell J. R. A disturbance-based ecosystem approach to maintaining and restoring freshwater habitats of evolutionarily significant units of anadromous salmonids in the Pacific Northwest. American Fisheries Society Symposium. 1995. V. 17. Pp. 334-349.

14. Danilov-Danilyan V.I., Khranovich I.L. Water resources management. Harmonizing water use strategies. M.: Scientific World, 2010. 232 p.

15. Mordvintsev M. M., Anokhin A. M., Persikova L. V. Restoration of rivers and reservoirs: a workshop for bachelors in direction. preparation "Environmental Management and Water Use", "Construction." Novocherkassk, 2017. 75 p.

16. Determination of the main calculated hydrological characteristics: SP 33-101-2003. Moscow: Gosstroy of Russia, FSUE TsPP, 2004. 75 p.

17. Fish Protection at Water Diversions. A Guide for Planning and Designing Fish Exclusion Facilities. Denver, Colorado: Department of the Interior, Bureau of Reclamation. 2016. 429 p.

Информация об авторах

Анохин Александр Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Гидротехническое сооружение», Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» (Российская Федерация, 346400, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: anocxin 2014@yandex.ru

Ткачев Александр Александрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидротехническое строительство», Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: prof_al@mail.ru

Степкин Алексей Владимирович, магистр по направлению подготовки "Речные и подземные гидротехнические сооружения", Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Author's Information

Anokhin Aleksander Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department of Hydraulic Structures, Novocherkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), e-mail: anocxin 2014@yandex.ru

Tkachev Aleksander Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Hydraulic Engineering Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after. A. K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), e-mail: prof_al@mail.ru

Stepkin Aleksey Vladimirovich, master in the direction of training "river and underground hydraulic structures" Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute. A. K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49

CONCRETE ELEMENTS ON OFF-GRADE AGGREGATES FOR CONDUCTIVE NETWORK OF RECLAMATION SYSTEMS

E. V. Vasilyeva¹, V. M. Fedorov²

¹South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov

²Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University named after A. K. Kortunov
Novocherkassk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: karalenka5@yandex.ru

Received 17.04.2023

Submitted 30.11.2023

Summary

The article shows the results of the positive effect of format-alcohol plasticizer on the construction, technical and operational qualities of concrete that meets established regulatory requirements. A polynomial model of the 2nd order was obtained, the optimal dosage of the recommended plasticizer was determined, which makes it possible to increase the strength of concrete by 60-80% after heat treatment.

Abstract

Introduction. Prefabricated elements for the network and structures of reclamation systems are manufactured at factories and landfills. After manufacturing, they are sent to the construction site, where they are installed and sealed. Prefabricated elements and structures, in comparison with monolithic ones, have a positive effect on the construction time (reduce them), help reduce labor costs and improve the quality of construction and installation work. In this regard, reclamation systems with a conductive network of prefabricated elements should be considered technically advanced and meeting reliability criteria. **Object.** The object of the study is prefabricated elements of reclamation systems. **Materials and methods.** To identify the effect of the physic-chemical effect of an aqueous solution of PFS on the strength and performance properties of concrete on aggregates with a high content of pulverized and clay particles, Novorossiysk Portland cement of the 500 brand was used, quartz crushed stone of the 5-40 mm fraction of the Potapovsky deposit with a content of pulverized and clay particles in the amount of 3.3-3.8%, and the waste of cam-non-fragmentation of quartzite fraction 0-5 mm (seeding) Potapovsky deposit with a size modulus of 2.50 with a content of pulverized and clay particles over 15%. Methods of experimental planning theory with the construction of a geometric image of the response function using linear algebra methods were used to solve prescription and technological problems. At the same time, the following ratios were observed: $C + \text{Height} = 950 \text{ kg / m}^3$, $\text{Height} = 1270 \text{ kg / m}^3$, where: C, Height, Sch – respectively, the cost of cement, sowing, crushed stone. Concrete mixtures on such aggregates have low mobility, which makes it difficult to mix them, as well as formability and compaction during vibration, which negatively affects the strength and performance of concrete. In this regard, to compensate for the negative impact of such aggregates on the quality of concrete and the reliability of prefabricated elements, it is proposed to use a plasticizing additive to the concrete mixture - a formate-alcohol plasticizer, which is a by-product of the production of pentaerythritol, which is an aqueous solution of sodium formate, syrup-forming substances and poly-alcohols – monopentaerythritol and polypentaerythritol. Concrete cubes with an edge of 100 mm were made from the prepared mixtures on a vibrating compaction table, which were then placed in a laboratory steaming chamber for accelerated strength gain. As for the frost resistance of concrete, the normalized characteristics were determined by the results of tests of concrete samples-cubes of 28-year-old age. **Results and conclusions.** Studies have shown that the use of inexpensive non-conditioned fillers in the production of trays, pipes, plates and other prefabricated elements will ensure cost reduction in their manufacture without reducing the quality of products. To save cement and reduce the initial water content of mixtures, on aggregates with a high content of polluting particles, it is proposed to add a formate-alcohol plasticizer to the mixture. Its positive influence on the strength and operational properties of concrete meeting the established requirements has been established. By the method of experimental planning, a second-order polynomial model was obtained that adequately describes, at a 5% level of significance, the dependence of the strength of concrete on inexpensive non-conditional aggregates on cement consumption and the dosage of the PFS plasticizer: when cement is dispersed from 250 to 550 kg/m³, the dosage of the plasticizer in the form of an aqueous solution in an amount of 2.8-3.2% of the cement mass, it should be considered optimal; the addition of PFS plasticizer to the mixture increased the strength of concrete after heat treatment by 60-80%. Accelerated tests of concrete samples for sea resistance in a solution of sodium chloride confirmed the compliance of concrete on inexpensive local aggregates with an increased content of pulverized and clay particles with the mark 300.

Key words: *reclamation systems, elements of reclamation systems, structures of reclamation systems, reinforced concrete structures.*

Citation. Vasilyeva E. V., Fedorov V. M. Concrete elements on off-grade aggregates for conductive network of reclamation systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 487-500 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49.

Author's contribution. These authors of this study were directly involved in the formulation of the problem, the planning of the study, the analysis, the presentation of conclusions and the preparation of proposals to production. The authors of this article have read and approved the final version of the article.

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

УДК 666. 97(075.8)

**ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ БЕТОНА НА НЕКОНДИЦИОННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ
ДЛЯ ПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ****Е. В. Васильева¹**, кандидат технических наук, доцент**В. М. Федоров²**, доктор технических наук, профессор¹*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М. И. Платова*²*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета
г. Новочеркасск, Российская Федерация*

Актуальность. По мнению ведущих отечественных ученых, на межхозяйственной и хозяйственной сети с высокой эксплуатационной надежностью, доля технически совершенной сети должна быть не менее 40-50 % от всей её протяженности, а на внутрихозяйственной – должна составлять не менее 70 %. Выполнение указанных рекомендаций обеспечит высокий КПД проводящей сети и системы в целом, предотвратит значительный подъем уровня грунтовых вод, создаст благоприятный эколого-мелиоративный режим на орошаемых землях. Одно из решений – наращивание производства сборных железобетонных элементов – лотков, труб, плит для использования: взамен элементов пришедших в негодность по истечении срока эксплуатации или преждевременно; в качестве облицовок земляных каналов; вместо земляных каналов. Масштаб задач требует наращивания производства бетона на заводах и полигонах, что предполагает добычу с последующей переработкой и транспортировкой значительных объемов сырьевых материалов. Принимая во внимание актуальность проблемы минимизации затрат, одной из основных задач в мелиоративном и гидротехническом строительстве, несомненно, является создание объектов с минимальной сметной стоимостью. Задача такого формата может быть разрешена с использованием ресурсосберегающих технологий, которые дают возможность вместе с другими решать и задачи применения недорогих строительных материалов в качестве сырьевой основы. **Объект.** Объектом исследований являются сборные элементы мелиоративных систем. **Материалы и методы.** Для решения рецептурно-технологических задач использовали методы теории планирования эксперимента с последующим построением геометрического образа функции отклика. В качестве компонентов смеси для проведения исследований использовался цемент М500 (г. Новороссийск, Краснодарский край), щебень-песчаник крупностью 5-40 мм (х. Верхний Потапов, Ростовская область) с пылевидными и глинистыми включениями 3,0-4,0%, а так же отсев (высевка) 0-5 мм при измельчении песчаника с $M_{кр} = 2,50$. Придерживались следующих условий:

1. Сумма расходов цемента и высевки равна 950 кг/м^3
2. Количество щебня – 1270 кг/м^3 .

Бетонные смеси на подобного рода заполнителях имеют малую подвижность, что затрудняет их перемешивание, а также формуемость и уплотнение при вибрации, что оказывает отрицательное влияние на качество бетона при эксплуатации. В связи с этим для компенсации отрицательного влияния таких заполнителей на качество бетона и надежность сборных элементов предлагается использовать пластифицирующую добавку в бетонную смесь – формиатно-спиртовой пластификатор, являющийся побочным продуктом производства спирта-пентаэритрита, представляющего собой водный раствор формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов – монопентаэритрита и полипентаэритритов. Из приготовленных смесей на виброуплотняющем столе изготавливались бетонные кубики с ребром 100 мм, помещаемые затем в лабораторную пропарочную камеру для ускоренного набора прочности. Что касается морозостойкости бетона, то эксплуатационная пригодность определялась по опытным данным, полученных при испытаниях стандартных кубических образцов с ребром 100 мм двадцативосьмисуточного возраста. **Результаты и выводы.** Исследованиями показано, что использование недорогих некондиционных заполнителей в производстве лотков, труб,

плит и других сборных элементов обеспечит снижение затрат при их изготовлении без снижения качества изделий. С целью уменьшения расхода цемента и исходного водосодержания смеси на заполнителях с увеличенным количеством загрязняющих примесей рекомендовано в качестве добавки использовать формиатно-спиртовой пластификатор. Доказано позитивное его воздействие на строительные-технические и эксплуатационные качества бетона, отвечающего установленным нормативным требованиям. Получена полиномиальная модель 2-го порядка, определена оптимальная дозировка рекомендованного пластификатора, позволяющая на 60-80% увеличить прочность бетона после тепловой обработки. Проведенные лабораторные испытания бетонных образцов на морозостойкость подтвердило соответствие бетона на местной сырьевой базе марке 300. Результаты проведенных исследований выявили возможность расширения сырьевой базы для производства лотков, труб, плит и других сборных железобетонных элементов за счет использования в бетоне недорогих местных некондиционных заполнителей с повышенным содержанием загрязняющих частиц.

Ключевые слова: *мелиоративные системы, элементы мелиоративных систем, конструкции мелиоративных систем, железобетонные конструкции.*

Цитирование. Васильева Е. В., Федоров В. М. Элементы из бетона на некондиционных заполнителях для проводящей сети мелиоративных систем. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 487-500. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49.

Авторский вклад. Указанные авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке проблемы, планировании исследования, анализе, в изложении выводов и подготовке предложений производству. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сборные элементы для сети и сооружений мелиоративных систем изготавливают на заводах и полигонах (рисунок 1). После изготовления их отправляют на строительную площадку, осуществляют монтаж и герметизацию стыков. Сборные элементы и конструкции в сравнении с монолитными положительно влияют на сроки строительства (сокращают), способствуют снижению трудозатрат и повышению качества строительного-монтажных работ. В связи с этим мелиоративные системы с проводящей сетью из сборных элементов следует отнести к технически совершенным и отвечающим критериям надежности. Тем не менее, в настоящее время и такая, некогда совершенная проводящая сеть нуждается в основательном ремонте или замене, а сеть из земляных каналов – в реконструкции [1-6, 9]. Решение задач в увеличении объемов производства сборных железобетонных элементов и, в первую очередь, элементов массового использования – плит, лотков, труб, взамен сборных элементов, пришедших в негодность по истечении срока эксплуатации или преждевременно; в качестве облицовок земляных каналов; вместо земляных каналов. В качестве дополнительного источника сырья могут быть использованы нерудные полезные ископаемые, месторождения которых имеются практически повсеместно [7-13].

Материалы и методы. В качестве одних из самых востребованных месторождений нерудных материалов в Ростовской области считаются Жирновский карьер (п. Жирнов), Быстрореченский карьер (п. Быстрореченский) и Потаповский карьер (х. Верхний Потапов). Оказывая благоприятное влияние на формирование структуры цементного камня и повышая этим самым однородность, плотность и прочность бетона, дробленные карбонатные породы Жирновского и Быстрореченского карьеров в виде щебня и высевки (отход камнедробления) пользуются наибольшим спросом и в обозримом будущем их перспективы (в отличие от щебня и высевки Потаповского карьера) сомнений не вызывают.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований выявили возможность расширения сырьевой базы производства лотков, труб, плит и других сборных железобетонных элементов за счет использования недорогих местных некондиционных заполнителей с высоким содержанием загрязняющих частиц.

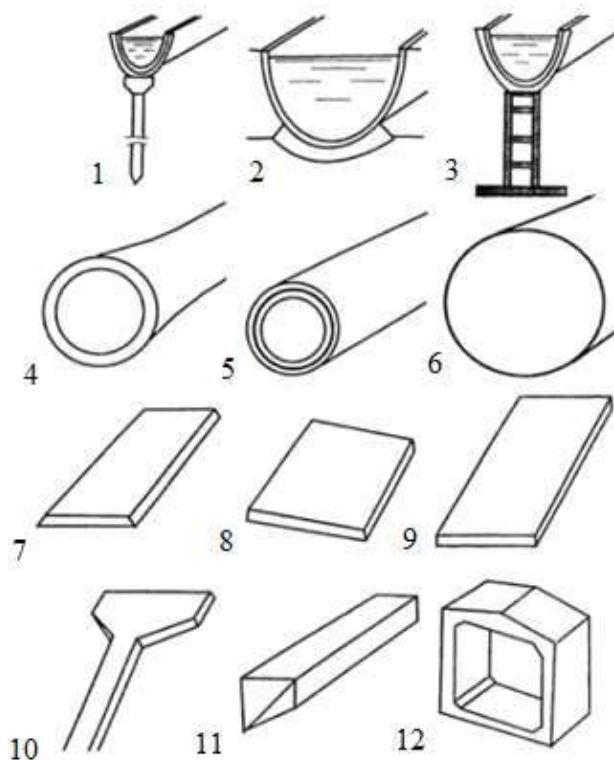


Рисунок 1 – Элементы проводящей сети мелиоративных систем

1 – лотки на свайных опорах; 2 – крупногабаритные лотки-оболочки; 3 – лотки на опорах рамного типа; 4 – трубы безнапорные; 5 – трубы с металлическим сердечником; 6 – трубы виброгидропрессованные; 7 – плиты преднапряжённые; 8 – плиты крепления; 9 – плиты с арматурными выпусками; 10 – сваи-колонны; 11 – усиленные сваи; 12 – трубы прямоугольные

Figure 1 – Elements of the conductive network of reclamation systems

1 – trays on pile supports; 2 – large-sized shell trays; 3 – trays on frame-type supports; 4 – pressure-free pipes; 5 – pipes with metal core; 6 – vibrohydrocompressed pipes; 7 – prestressed slabs; 8 – attachment plates; 9 – plates with reinforcement outlets; 10 – of pile-columns; 11 – reinforced piles; 12 – pipes rectangular

Говоря о материалах в х. Верхний Потапов - Потаповского карьера, следует подчеркнуть, что широкомасштабное их использование в строительстве или реконструкции мелиоративных систем (да и вообще в строительстве) вызывает определенные сомнения. Являясь относительно дешевыми (на 20-30%), щебень-песчаник фракции 5-40 мм и высевка фракции 0-5 мм Потаповского карьера содержат пылевидные и глинистые частицы, определяемые отмучиванием, в количестве, соответственно, 3,0-4,0% и свыше 15%. Принимая во внимание, что повышенное содержание пылевидных и глинистых частиц негативно влияет на строительно-технические и эксплуатационные свойства бетона, стремятся к использованию заполнителей, которые содержат значительно меньше таких (загрязняющих) частиц. В случае если технологические, организационные или какие-то другие причины не позволяют в практической деятельности использовать такие (достаточно качественные) заполнители, бетонные смеси с невысо-

качественными заполнителями приготавливают, как правило, с увеличенными дозировками цемента, что согласно нормативным требованиям недопустимо, а кроме этого, увеличивает стоимость бетона и бетонных элементов [13, 14].

Важным обстоятельством является и то, что пески обладают в основном гладкой поверхностью, положительно влияющей на подвижность и уплотняемость бетонной смеси. Высевка же, имея неправильную форму и шероховатую поверхность, и содержащая еще и повышенное количество загрязняющих частиц, не обеспечивает необходимой удобоукладываемости бетонной смеси и надлежащего ее уплотнения при вибрировании, а это крайне негативно сказывается на строительно-технических и эксплуатационных свойствах бетона лотков, труб, плит и других сборных элементов. В этих условиях приходится увеличивать исходное содержание воды в бетонной смеси, что приводит к увеличению дозировок цемента [12-14].

Для экономного расходования цемента и снижения начального водосодержания смесей без ухудшения строительно-технологических и технических свойств рекомендовано применение эффективных добавок-пластификаторов, а для удешевления бетона и бетонных (или железобетонных) элементов желательно отыскать добавку-пластификатор из числа имеющихся рядом отходов промышленных производств.

В качестве добавки-пластификатора предложен формиатно-спиртовый пластификатор, представляющий собой промышленный отход производства многоатомного спирта-пентаэритрита. Формиатно-спиртовый пластификатор значительно дешевле СМФ, ЛСТМ, С-3 и других идентичных им суперпластификаторов (суперразжижителей), применяется в виде водного раствора 40-50% концентрации по массе, доставляется в бочках или цистернах. Транспортировку осуществляют на специальном автотранспорте или по железной дороге [10,14].

Результаты и обработка исследований, обсуждение. Для выявления механизма влияния водного раствора формиатно-спиртового пластификатора 45%-ной концентрации на строительно-технические и эксплуатационные качества бетона сборных элементов на заполнителях с увеличенным содержанием загрязняющих (пылевидных, глинистых) частиц использовались: портландцемент марки 500 Новороссийского завода «Октябрь»; крупный заполнитель – щебень (песчаник) фракции 5-40 мм Потаповского карьера, содержащий загрязняющих частиц в количестве 3,0-4,0%; мелкий заполнитель – отход дробления песчаника фракции 0-5 мм (высевка) Потаповского карьера, имеющая модуль крупности 2,50 и свыше 15% загрязняющих частиц. Решение рецептурно-технологических задач опиралось на современные методы планирования эксперимента, регрессионного и статистического анализа с учетом следующих соотношений: Цемент + Высевка = 950 кг/м³, Щебень = 1270 кг/м³, где: Цемент, Высевка, Щебень – расходы цемента, высевок и щебня, соответственно [15, 16].

Условия кодирования и варьирования факторов планируемого экспериментального исследования приведены в таблице 1 с учетом состава изображенных на рисунке 1 сборных элементов проводящей сети.

Таблица 1 – Кодирование и варьирование факторов
Table 1 – Coding and variation of factors

Факторы	Код X_i	Основной уровень, X_0 , %	Интервал варьирования, ΔX_i	Нижний уровень, «-»	Верхний уровень, «+»
Цемент	X_1	400	150	250	550
ПФС	X_2	3,0	2,0	1,0	5,0

Графически план экспериментального исследования изображен на рисунке 2, а матрица планирования и условия проведения исследования представлены в таблице 2.

Согласно рисунку 2 точки используемого плана экспериментального исследования имеют координаты вершин правильного шестиугольника, построенного в интервале варьирования факторов ± 1 в кодированном виде. Выбранный план удобен тем, что переход от кодированных факторов к натуральным значениям и, наоборот, легко произвести графически по соответственным осям (рисунок 2). По результатам семи опытов (центр шестиугольника и шесть вершин) определяют неизвестные коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка [15, 16].

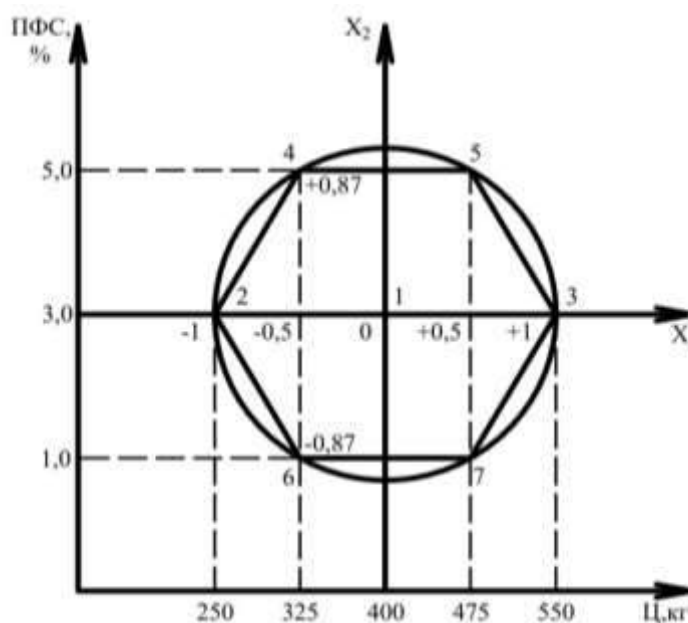


Рисунок 2 – План эксперимента на шестиугольнике
Figure 2 – Experimental plan on a hexagon

$$\hat{y}_R = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2, \quad (1)$$

где: $b_0 = (0y) - \sum_{i=1}^k (i y)$; $b_i = 1/3(i y)$; $b_{ij} = 4/3(i j y)$;

$$b_{ii} = 2/3(i i y) + 5/6 \sum_{i=1}^k (i i y) - (0 y). \quad (2)$$

Таблица 2 – Матрица планирования и условия эксперимента
Table 2 – Planning matrix and experimental conditions

Номер опыта	План		X_1^2	X_2^2	$X_1 X_2$	Факторы	
	X_1	X_2				X_1 (Ц)	X_2 (ПФС)
1	0	0	0	0	0	400	3,0
2	-1	0	1	0	0	250	3,0
3	1	0	1	0	0	550	3,0
4	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	325	5,0
5	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	475	5,0
6	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	325	1,0
7	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	475	1,0

Используя формулы (2) подсчитывались коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка, расчётные значения которых приведены ниже:

$$\begin{aligned} b_0 &= 174,9 - (77,0 + 63,0) = 34,9; & b_1 &= 35,3/3 = 11,77; \\ b_2 &= 2,44/3 = 0,82; & b_{12} &= 4/3(0,26) = 0,35; \\ b_{11} &= 2/3(77,0) + 5/6(77,0 + 63,0) - 174,9 = -6,89; \\ b_{22} &= 2/3(63,0) + 5/6(77,0 + 63,0) - 174,9 = -16,23. \end{aligned}$$

Для прочности бетона на сжатие после тепловлажностной обработки было получено уравнение регрессии в приведённом ниже виде:

$$\hat{y}_R = 34,9 + 11,77X_1 + 0,82X_2 - 6,89X_1^2 - 16,23X_2^2 + 0,35X_1X_2 \quad (3)$$

Регрессионный анализ полученной математической модели (3) выполним после вычисления ошибки эксперимента и подсчёта ошибок коэффициентов регрессионного уравнения. Принимая во внимание трёхкратную повторность опытов, ошибка проведённого эксперимента по воспроизводимости составила $S_{эв} = \sqrt{S_{эв}^2} = 0,18$.

Таблица 3 – Расчёт ошибок коэффициентов
Table 3 – Calculation of coefficient errors

b_m	b_0	b_i	b_{ii}	b_{ij}
T_i	1,0	0,577	1,224	1,155
$T_i \cdot S_{эв}$	0,18	0,104	0,220	0,208
$t \cdot T_i \cdot S_{эв}$	0,317	0,183	0,387	0,366

Таблица 4 – Регрессионный анализ модели
Table 4 – Regression analysis of the model

b_m	Начальная модель	$b_{кр}$	Конечная модель	ijy	$b_{ij}(ijy)$
b_0	34,9	0,317	34,9	174,9	6104,01
b_1	11,77	0,183	11,77	35,3	415,48
b_2	0,82	0,183	0,82	2,44	2,00
b_{11}	-6,89	0,387	-6,89	77,0	-530,53
b_{22}	-16,23	0,387	-16,23	63,0	-1022,49
b_{12}	0,35	0,366	0	0,26	0

Сумма квадратов SS_{mod} и SS :

$$SS_{mod} = 4968,47;$$

$$SS_{эв} = 0,448.$$

$$SS = SS_{mod} + SS_{эв} = 4968,92.$$

Произведем проверку адекватности математической модели при риске $\alpha = 0,05$, и числе степеней свободы $f_{на} = 7 - 5 = 2$ и $f_э = N(n-1) = 14$. Сумма квадратов $SS_{на}$:

$$SS_{на} = (yy) - (SS_{mod} + SS_{эв}) = 4969,13 - (4968,47 + 0,448) = 0,212.$$

Дисперсия неадекватности $S_{на}^2$ и критерий Фишера, соответственно:

$$S_{на}^2 = SS_{на} / f_{на} = 0,212 / (7-5) = 0,106 , \\ F_a = 3,31 < F_T = 3,76.$$

Следовательно, можно допустить, что математическая модель (4)

$$\hat{y}_R = 34,9 + 11,77X_1 + 0,82X_2 - 6,89X_1^2 - 16,23X_2^2 , \quad (4)$$

с риском $\alpha = 0,05$ адекватно отражает результаты экспериментального исследования. Анализ математической модели (4) осуществим после выявления её типа и построения соответствующего ей геометрического образа. С этой целью воспользуемся общей теорией поверхностей второго порядка [15,16], принимая:

$$b_0 - y = a_0; \quad b_{ij} = 2a_{ij}; \quad b_i = 2a_i; \quad b_{ii} = a_{ii}. \quad (5)$$

Инварианты кривой второго порядка – сумма коэффициентов при квадратичных членах (S), определитель, составленный из коэффициентов при старших членах (δ), определитель третьего порядка, образованный из всех коэффициентов (Δ), составят:

$$S = b_{11} + b_{22} = -6,89 - 16,23 = -23.12;$$

$$\delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix} = 111,83; \quad (6)$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & 0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & b_{22} & 0,5b_2 \\ 0,5b_1 & 0,5b_2 & b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6,89 & 0 & 5,89 \\ 0 & -16,23 & 0,41 \\ 5,89 & 0,41 & 34,9 \end{bmatrix} = 4466,92 \quad (7)$$

С учетом того обстоятельства, что $\delta > 0$, $\Delta \neq 0$, $S\Delta < 0$ уравнение (4) описывает эллиптическую поверхность отклика.

Используя инварианты (5), (6) и (7), представим уравнение (4) в удобной для анализа и геометрической интерпретации канонической форме:

$$\lambda_1 \bar{X}_1^2 + \lambda_2 \bar{X}_2^2 + C = 0. \quad (8)$$

Коэффициенты канонической формы определим через инварианты:

$$C = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{4466,92}{111,83} = 39,94 \quad (9)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{S}{2} \pm \sqrt{\frac{S^2}{4} - \delta} = -11,56 \pm 4,67; \quad (10)$$

$$\lambda_1 = -6,89; \quad \lambda_2 = -16,23.$$

С точки зрения геометрии, переход к уравнению (8) означает перемещение начала координат в центр кривой (поверхности) и поворот их на некоторый угол до совмещения с главными осями кривой (поверхностями) второго порядка.

С учётом (9) и (10) каноническая форма уравнения (4) примет вид:

$$-6,89\bar{X}_1^2 - 16,23\bar{X}_2^2 + 39,94 = R_{ТВО}, \quad (11)$$

а координаты центра поверхности отклика определяются из формул:

$$\begin{aligned}\bar{X}_{01} &= \frac{\begin{vmatrix} -0,5b_1 & 0,5b_{12} \\ -0,5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -5,89 & 0 \\ -0,41 & -16,23 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix}} = \frac{95,59}{111,83} = 0,86, \\ \bar{X}_{02} &= \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & -0,5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -6,89 & -5,89 \\ 0 & -0,41 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix}} = \frac{2,825}{111,83} = 0,025.\end{aligned}\quad (12)$$

Учитывая, что коэффициент b_{12} равен нулю, отсутствует поворот новых осей относительно изначальных.

По канонической форме (11) полуоси эллипсов определяются из следующих ниже соотношений:

$$a = \sqrt{\frac{39,94 - R_{\text{TBO}}}{6,89}}; \quad b = \sqrt{\frac{39,94 - R_{\text{TBO}}}{16,23}}. \quad (13)$$

Для функции отклика задаваясь шагом $\Delta \hat{y}_R = 1,0$, получим семейство сечений, проекции которых на факторную плоскость будут эллипсами с полуосями, определяемыми по формулам (13).

$$\begin{aligned}\text{Для } R_{\text{TBO}} = 38,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 38,0}{6,89}} = 0,53; b = \sqrt{\frac{39,94 - 38,0}{16,23}} = 0,35; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 36,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 36,0}{6,89}} = 0,76; b = \sqrt{\frac{39,94 - 36,0}{16,23}} = 0,49; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 32,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 32,0}{6,89}} = 1,07; b = \sqrt{\frac{39,94 - 32,0}{16,23}} = 0,70; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 28,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 28,0}{6,89}} = 1,32; b = \sqrt{\frac{39,94 - 28,0}{16,23}} = 0,86; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 24,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 24,0}{6,89}} = 1,52; b = \sqrt{\frac{39,94 - 24,0}{16,23}} = 0,99; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 20,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 20,0}{6,89}} = 1,70; b = \sqrt{\frac{39,94 - 20,0}{16,23}} = 1,11; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 16,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 16,0}{6,89}} = 1,86; b = \sqrt{\frac{39,94 - 16,0}{16,23}} = 1,22; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 14,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 14,0}{6,89}} = 1,94; b = \sqrt{\frac{39,94 - 14,0}{16,23}} = 1,26.\end{aligned}$$

Геометрический образ модели $\hat{y}_R (R_{\text{TBO}})$ изображен на рисунке 3.

Преимущества предложенных для сборных элементов бетонов, подчеркивают и результаты сопоставительных испытаний кубических бетонных образцов с дозировками цемента 400 кг/м^3 и 475 кг/м^3 с аналогичными заполнителями, но без введения в смесь формиатно-спиртового пластификатора. Прочность образцов-кубов после тепловлажностной обработки, имеющих дозировку цемента в количестве 400 кг/м^3 , была равна $19,3 \text{ МПа}$, а в количестве 475 кг/м^3 – $24,2 \text{ МПа}$. При введении в бетонную смесь формиатно-спиртового пластификатора (3%) прочностные показатели бетонов с дозировками цемента 400 кг/м^3 и 475 кг/м^3 , достигали, соответственно, $34,9 \text{ МПа}$ и $39,1 \text{ МПа}$. Такой (60-80%) прирост прочностных показателей обусловлен тем, что загрязняющие частицы в присутствии формиатно-спиртового пластификатора выполняют в бе-

тонной смеси функцию микронаполнителя, способного исполнять роли дополнительных центров кристаллизации и проявлять дефлокулирующее действие в гидратирующей системе “цемент-вода” [13,14].

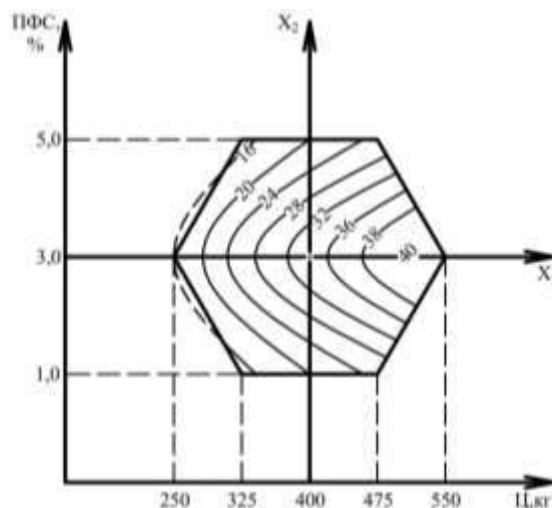


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация модели $\hat{Y}_R$ прочности бетона после тепловлажностной обработки

Figure 3 – Geometric interpretation of the concrete strength model after heat and humidity treatment

Морозостойкость бетона определялась возможностью его выдерживать в насыщенном солевом растворе состоянии много раз повторяемое замораживание и оттаивание без внешних признаков повреждения и значительного снижения прочностных показателей [14]. Устанавливаемые показатели оценивались по результатам испытаний бетонных кубических образцов с ребром 100 мм двадцати восьми суточного возраста. Насыщение и оттаивание образцов-кубов производилось в ваннах с 5%-ным водным раствором хлорида натрия температурой 20°C, а замораживание – в морозильной камере, обеспечивающей достижение и поддержание температуры воздуха и среды замораживания минус 50°C. Состав бетона: Цемент = 475 кг/м³, Высевка = 475 кг/м³, Щебень = 1270 кг/м³, Вода = 180 л/м³, Пластификатор = 14,3 кг/м³.

Результаты испытаний при 37 циклах попеременного замораживания и оттаивания предусматривали: определение среднего значения прочности R_{cp} контрольных образцов – 47,6 МПа, основных – 48,2 МПа; подсчет среднеквадратичного отклонения σ_n для сравниваемых образцов контрольных – 1,87 МПа, основных – 1,33 МПа; вычисление коэффициента вариации V_m прочности для образцов контрольных – 3,93%, основных – 2,76%; определение нижней границы доверительного интервала прочности при критерии Стьюдента 2,57 для сравниваемых образцов контрольных 47,6 – 2,57 · 1,87 = 42,8 МПа, основных 48,2 – 2,57 · 1,33 = 44,7 МПа.

Итак, образцы бетона с вышеупомянутым составом выдержали 37 циклов испытаний, что соответствует марке бетона по морозостойкости 300.

Таким образом, в результате проведенных исследований возникает перспектива использования в бетоне дешевых (доступных) местных некондиционных заполнителей, и расширения тем самым базы минерального сырья для изготовления лотков, труб, плит, свай и других сборных железобетонных элементов с целью широкого их применения в процессе ремонтных и восстановительных работ на мелиоративных системах, снижения финансовых расходов на ремонтно-строительные работы и сокращения сроков их выполнения.

Заключение. Применение сборных железобетонных элементов на ремонтируемых (восстанавливаемых) мелиоративных системах позволит сократить сроки ремонтно-восстановительных работ, повысить производительность и качество выполняемых работ. Исследованиями установлено, что использование недорогих некондиционных заполнителей в производстве лотков, труб, плит и других сборных элементов обеспечит снижение затрат при их изготовлении без ухудшения качества изделий. Для экономии цемента и снижения начального водосодержания бетонных смесей на заполнителях с увеличенным содержанием загрязняющих (пылевидных, глинистых) частиц рекомендовано введение в смесь формиатно-спиртового пластификатора, являющегося побочным продуктом производства многоатомного спирта-пентаэритрита. Выявлено положительное его (пластификатора) влияние на строительно-технические и эксплуатационные качества бетона сборных элементов, отвечающего нормативным требованиям. При использовании методов планирования эксперимента была получена математическая модель 2-го порядка, адекватно на 5%-ном уровне значимости описывающая зависимость прочностных показателей бетона на дешевых (доступных) некондиционных заполнителях от расходов цемента и формиатно-спиртового пластификатора: при расходе цемента от 250 до 550 кг/м³ дозировку формиатно-спиртового пластификатора в виде водного раствора 45%-ной концентрации в количестве 2,8-3,2% от массы цемента, необходимо считать оптимальной; введение пластификатора в состав бетонной смеси повысило прочность бетона после тепловой обработки на 60-80% и сэкономило в равнопрочных бетонах до 20-25% цемента. Ускоренными испытаниями образцов-кубов на морозостойкость в растворе хлорида натрия подтверждено соответствие бетона на недорогих местных заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц марке 300.

В ходе проведения исследований выявлена возможность расширения базы минерального сырья для производства лотков, труб, плит и других сборных железобетонных элементов за счет использования в бетоне дешевых некондиционных заполнителей с повышенным содержанием загрязняющих частиц.

Conclusions. The use of prefabricated reinforced concrete elements on repaired (restored) reclamation systems will reduce the time for repair and restoration work, increase the productivity and quality of the work performed. Studies have found that the use of inexpensive substandard aggregates in the production of trays, pipes, slabs and other prefabricated elements will reduce the cost of their manufacture without compromising the quality of products. To save cement and reduce the initial water content of concrete mixtures on aggregates with an increased content of polluting (dusty, clay) particles, it is recommended to introduce a formate-alcohol plasticizer into the mixture, which is a by-product of the production of polyhydric alcohol-pentaerythritol. Positive effect of its (plasticizer) on construction, technical and operational quality of concrete of prefabricated elements meeting regulatory requirements was revealed. When using experimental planning methods, a mathematical model of the 2nd order was obtained, adequately at the 5% level of significance describing the dependence of strength indicators of concrete on cheap (available) substandard fillers on the flow rates of cement and formate-alcohol plasticizer: at cement consumption from 250 to 550 kg/m³, the dosage of formate-alcohol plasticizer in the form of a 45% aqueous solution in the amount of 2.8-3.2% of the cement weight, should be considered optimal; introduction of plasticizer into concrete mix increased concrete strength after heat treatment by 60-80% and saved up to 20-25% of cement in equal-strength concretes. Accelerated tests of cube samples for frost resistance in sodium chloride solution confirmed the conformity of concrete on inexpensive local aggregates with a high content of dust and clay particles to grade 300.

The research revealed the possibility of expanding the base of mineral raw materials for the production of trays, pipes, slabs and other precast reinforced concrete elements due to the use of cheap substandard aggregates in concrete with a high content of pollutants.

Библиографический список

1. Шевченко В. А., Щедрин В. Н., Куприянова С. В. Задачи и проблемы восстановления оросительных мелиораций на юге России. Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 28–32.
2. Гулюк Г. Г. Эффективное развитие мелиоративного комплекса. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 2. С. 2–6.
3. Абдразаков Ф. К., Чуркина К. И. Состояние оросительных каналов Саратовского Заволжья и пути повышения их эффективности. Аграрный научный журнал. 2020. № 4. С. 68–70.

4. Шилин А. А., Кириленко А. М., Знайченко П. А. Современный подход к разработке решений по ремонту железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Транспортное строительство. 2017. № 12. С. 6–10.
5. Ищенко А. В., Баев О. А. Оценка эффективности противofiltrационного экрана на Донском магистральном канале. Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 4. С. 51–56.
6. Турлов А. Г. Строительство и реконструкция водохозяйственных сооружений: учебное пособие. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 113 с. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891>.
7. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Гидромеханическое решение задачи водопроницаемости экрана нарушенной сплошности. Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2018. № 4. С. 3–11.
8. Ханов Н. В., Еремеев А. В., Гурьев А. П. Исследование фfiltrационных характеристик геомата с заполнителем из щебня и битум-полимера. Природообустройство. 2018. № 4. С. 48–53.
9. Косиченко Ю. М., Баев О. А., Гарбуз А. Ю. Оценка комплексной реконструкции и модернизации оросительных систем. Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 2. С. 6–11.
10. Федоров В. М., Васильева Е. В., Яковенко Е. А. Безопасные и надежные сооружения водохозяйственных систем из укатанных бетонов. Новочеркасск: Лик, 2019. 166 с.
11. Семененко С. Я. и др. Способ реконструкции деформационных швов противofiltrационных бетонных и железобетонных облицовок гидротехнических сооружений. Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 1. С. 31–35.
12. Козлов К. Д., Ханов Н. В., Фартуков В. А., Козлов Д. В. Исследования гидродинамического воздействия водного потока на защитное покрытие из геосинтетического материала. Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 1 (27). С. 108–117.
13. Давиденко В. М. и др. Причины разрушения и концепция ремонта бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Известия ВНИИГ им Б. Е. Веденеева. 2017. Т. 286. С. 3–9.
14. Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А., Сафин Э. Э. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации. Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 2. С. 27–31.
15. Куприянова С. В., Власов М. В. Установление и комплексное использование критериев оценки эффективности различных видов ресурсов агрономелиоративных систем. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 1. С. 32–36.
16. Хисматуллин М. М. Цифровые технологии в орошаемом земледелии. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 2. С. 28–32.

References

1. Shevchenko V. A., Shchedrin V. N., Kupriyanova S. V. Tasks and problems of restoring irrigation reclamation in southern Russia. Reclamation and water management. 2023. № 3. Pp. 28-32.
2. Gulyuk G. G. Effective development of the reclamation complex. Reclamation and water management. 2022. № 2. Pp. 2-6.
3. Abdrazakov F. K., Churkina K. I. The state of irrigation canals of the Saratov Volga region and ways to increase their efficiency. Agrarian Scientific Journal. 2020. № 4. Pp. 68-70.
4. Shilin A. A., Kirilenko A. M., Znaichenko P. A. A modern approach to the development of solutions for the repair of reinforced concrete structures of hydraulic structures. Transport construction. 2017. № 12. Pp. 6-10.
5. Ishchenko A. V., Baev O. A. Assessment of the effectiveness of the anti-filtration screen on the Don main channel. Urban planning and architecture. 2017. V. 7. № 4. Pp. 51-56.
6. Turlov A. G. Construction and reconstruction of water facilities: a textbook. Yoshkar-Ola: PSTU, 2014. 113 p. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891>.
7. Kosichenko Yu. M., Baev O. A. Hydromechanical solution to the problem of water permeability of the screen of broken continuity. Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Fluid and gas mechanics. 2018. № 4. Pp. 3-11.
8. Khanov N. V., Eremeev A. V., Guryev A. P. Study of the filtration characteristics of geomate with aggregate made of crushed stone and bitumen polymer. Environmental management. 2018. № 4. Pp. 48-53.

9. Kosichenko Yu. M., Baev O. A., Garbuz A. Yu. Assessment of integrated reconstruction and modernization of irrigation systems. Reclamation and water management. 2021. № 2. Pp. 6-11.
10. Fedorov V. M., Vasilyeva E. V., Yakovenko E. A. Safe and reliable structures of water management systems made of rolled concrete. Novocherkassk: Lik, 2019. 166 p.
11. Semenenko S. Ya., et al. Method for reconstruction of expansion joints of anti-filtration concrete and reinforced concrete linings of hydraulic structures. Reclamation and water management. 2017. № 1. Pp. 31-35.
12. Kozlov K. D., Khanov N. V., Fartukov V. A., Kozlov D. V. Studies of the hydrodynamic effect of water flow on a protective coating made of geosynthetic material. Construction: Science and Education. 2018. V. 8. № 1 (27). Pp. 108-117.
13. Davidenko V. M. et al. Causes of destruction and concept of repair of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures. Izvestia VNIIG named after B.E. Vedeneev. 2017. V. 286. Pp. 3-9.
14. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Safin E. E. Coating of irrigation canals with an innovative concrete web and adaptive methods of their operation. Reclamation and water management. 2023. № 2. Pp. 27-31.
15. Kupriyanova S. V., Vlasov M. V. Establishment and integrated use of criteria for assessing the effectiveness of various types of resources of agro-reclamation systems. Reclamation and water management. 2022. № 1. Pp. 32-36.
16. Khismatullin M. M. Digital technologies in irrigated agriculture. Reclamation and water management. 2022. № 2. Pp. 28-32.

Информация об авторах

Васильева Елена Викторовна, доцент Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова (Российская Федерация, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru

Федоров Виктор Матвеевич, профессор Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 346409, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru

Author's Information

Vasilyeva Elena Viktorovna, Associate Professor of the South Russian State Polytechnic University named after M. I. Platov (Russian Federation, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, Prosvecheniya St., 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru

Fedorov Viktor Matveyevich, professor at the Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (Russian Federation, 346409, Rostov region, Novocherkassk, st. Pushkinskaya, 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-50

COMPARATIVE EVALUATION OF A REAGENT BASED ON VARIOUS CATALYSTS USED FOR WASTEWATER TREATMENT

**M. A. Denisova, A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, O. V. Bocharnikova,
O. V. Kozinskaya, E. V. Pustovalov**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Received 17.09.2023

Submitted 03.11.2023

Summary

A comparative assessment of various catalysts for ferrite formation during wastewater treatment is considered. Obtaining optimal parameters of time and volume of a substance to reduce the concentration of chemical elements to the maximum permissible concentration.

Abstract

Introduction. The ecological situation in our country at this point in time is considered unsatisfactory. Air pollution occurs due to large amounts of emissions from industrial plants; rivers and lakes are polluted by emissions of industrial, livestock and domestic wastewater. A known reagent method for wastewater treatment is ferritization or the formation of oxypheres. This method is well used for industrial plants such as paint and varnish, woodworking, metal production, etc. There is ferrite formation on several catalysts, such as ferrous sulfate, copper sulfate, so there is a need to conduct an experiment to study various catalysts to determine the best one for the absorption of chemical impurities. **Object.** The object of the study is highly contaminated wastewater. **Materials and methods.** A chemical analytical analysis of the wastewater under study was performed to determine the concentration of heavy metals. Next, experiments were carried out with various catalysts in laboratory conditions by settling at different periods of time and the volume of ferrite formation suspension. **Results and conclusions.** The best result was shown by a catalyst in the form of iron sulfate, in which the ferrite formation reaction proceeded faster than with aluminum oxide and copper sulfate. The settling was carried out at intervals of 0.3 to 4 hours, the volume of the suspension used was from 20 to 50 ml. With these parameters, it was found that the contact time of the catalyst with the wastewater under study was 2 hours, the amount of suspension was 50 ml. Removal of chemical impurities ranged from 90 to 100%. Comparative data is aimed at identifying a faster catalyst for ferrite formation, as well as removing impurities to the maximum permissible concentration. Experimental data are aimed at reducing the environmental load of water bodies into which wastewater is discharged.

Key words: wastewater, absorption of chemical impurities, copper sulfate, iron sulfate, aluminum oxide, ferritization, oxypheres.

Citation. Denisova M. A., Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V., Kozinskaya O. V., Pustovalov E. V. Comparative evaluation of a reagent based on various catalysts used for wastewater treatment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 500-507 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-50.

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

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

УДК 628.16

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕАГЕНТА НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

М. А. Денисова, кандидат технических наук

А. С. Овчинников, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

В. С. Бочарников, доктор технических наук, доцент

О. В. Бочарникова, доктор технических наук, доцент

О. В. Козинская, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Е. В. Пустовалов, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Экологическая ситуация нашей страны в данный момент считается неудовлетворительной. Загрязнения воздуха происходят за счет большого количества выбросов промышленных заводов, реки и озера загрязняются выбросами сточных промышленных, животноводческих и бытовых вод. Известен такой реагентный способ очистки сточных вод, как ферритизация, или образование оксиферов. Данный способ хорошо применяется для таких промышленных заводов, как лакокрасочные, деревообрабатывающие, производство металла и т.д. Существует ферритообразование на нескольких катализаторах, таких как железный купорос, медный купорос, поэтому есть необходимость проведения эксперимента по изучению различных катализаторов для определения наилучшего по поглощению химических примесей. **Объект.** Объектом исследования яв-

ляются сильно загрязненные сточные воды. **Материалы и методы.** Был выполнен химико-аналитический анализ исследуемой сточной воды для определения концентрации тяжелых металлов. Далее проводились эксперименты с различными катализаторами в лабораторных условиях методом отстаивания в различные промежутки времени и объемом суспензии ферритообразования. **Результаты и выводы.** Наилучший результат показал катализатор в виде железного купороса, у которого реакция ферритообразования проходила быстрее, чем у оксида алюминия и медного купороса. Отстаивание проводилось в промежутки времени от 0,3 до 4 часов, объем используемой суспензии составил от 20 до 50 мл. При данных параметрах было выявлено, что время контакта катализатора с исследуемыми стоками составило 2 часа, количество суспензии 50 мл. Удаление химических примесей составило от 90 до 100%. Сравнительные данные направлены на выявление более быстрого катализатора для образования феррита, а также удалению примесей до предельно допустимой концентрации. Экспериментальные данные ориентированы на снижение экологической нагрузки водных объектов, в которых происходит сброс сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, поглощение химических примесей, медный купорос, железный купорос, оксид алюминия, ферритизация, оксиферы.

Цитирование. Денисова М. А., Овчинников А. С., Бочарников В. С., Бочарникова О. В., Козинская О. В., Пустовалов Е. В. Сравнительная оценка реагента на основе различных катализаторов, применяемых для очистки сточных вод. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 500-507. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-50.

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. Экологическая ситуация нашей страны на данный момент времени считается неудовлетворительной. Загрязнения воздуха происходят за счет большого количества выбросов промышленных заводов, реки и озера загрязняются выбросами сточных промышленных, животноводческих и бытовых вод [1]. Очищенная вода необходима не только для производственно-бытовых нужд, но и для удовлетворения потребностей агропромышленного комплекса, в том числе для целей орошения сельскохозяйственных культур [2, 3, 4].

Проведя аналитический обзор по существующим технологиям и способам очистки сточных и природных вод, можно сделать вывод, что все они нуждаются в усовершенствовании либо улучшении для обеспечения качественной очистки водных ресурсов [5, 6].

Известен такой реагентный способ очистки сточных вод, как ферритизация, или образование оксиферов [7, 8]. Данный способ хорошо применяется для промышленных заводов: лакокрасочных, деревообрабатывающих, производств металла и т.д. [9, 10, 11]. Суть способа ферритизации заключается в образовании феррита, т.е. магнита, который притягивает к себе частицы металлов и некоторых других химических элементов [12, 13, 14]. Существует ферритообразование на нескольких катализаторах, таких как железный купорос, медный купорос и т.д. [15]. Основным катализатором для образования ферромагнетика в производстве является железный купорос, поэтому возникает необходимость проведения эксперимента по изучению различных катализаторов для определения наилучшего по поглощению химических примесей.

Материалы и методы. Для проведения сравнительной оценки различных катализаторов образования ферромагнетика были приобретены медный купорос, железный купорос и оксид алюминия. Эксперимент предполагает отбор проб сточных вод, а также приготовление суспензии, содержащей исследуемый катализатор.

Исследования проводились по методу отстаивания в различные промежутки времени. Для этого бралась проба сточной воды в объеме 100 мл в три мерные колбы. Далее готовилась суспензия объемом 500 мл с тремя исследуемыми катализаторами. После чего в

мерные колбы добавлялись в разных количествах суспензии и проводилось отстаивание в различные промежутки времени, после которых исследуемая вода бралась на химический анализ по выявлению остаточной концентрации химических элементов.

Результаты и обсуждение. Перед сравнительной оценкой катализаторов был выполнен химико-аналитический анализ сточной воды, который приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Исходная концентрация исследуемых сточных вод

Table 1 – Initial concentration of the studied wastewater

№ п/п	Наименование химического вещества	Концентрация химического вещества, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³
1	Железо общее	0,42	0,3
2	Цинк	5,7	5,0
3	Медь	1,85	1,0
4	Хром	0,48	0,5
5	Кадмий	0,0003	0,001
6	Свинец	0,047	0,03
7	Никель	0,078	0,1
8	Ртуть	0,0012	0,005

По данным первого эксперимента с использованием оксида алюминия в суспензии, как катализатора получены результаты отстаивания сточных вод в течение 0,3 часа, 1 часа, 2 часов и 4 часов. Объем суспензии был введен в колбы 10 мл, 30 мл и 50 мл. Результат поглощения тяжелых металлов представлен на графике 1.

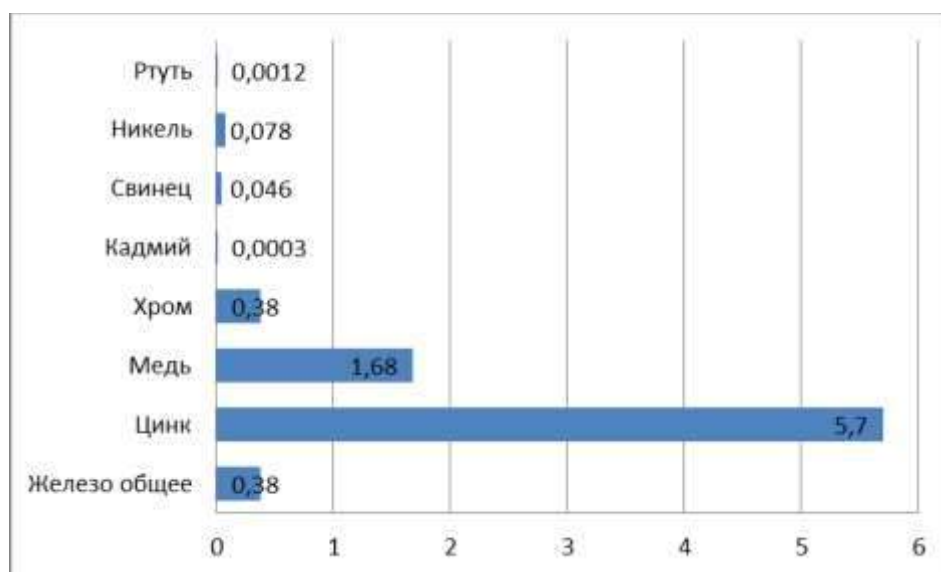


График 1 – Концентрация тяжелых металлов с использованием оксида алюминия

Graph 1 – Concentration of heavy metals using aluminum oxide

Результат эксперимента с оксидом алюминия показал, что данный катализатор практически не выполняет функцию по удалению тяжелых металлов и процесса эффективного образования ферритов. Данный катализатор удалил из сточных вод химических элементов менее 10%.

Следующий эксперимент был выполнен с медным купоросом как катализатором для ферритообразования. Результат приведен в таблице 2.

По результату отстаивания сточных вод с медным купоросом получены данные, свидетельствующие, что процесс ферритообразования происходил медленно и эффективность удаления примесей показала не лучший результат, так как удаление произошло всего на 15-20% максимум при объеме суспензии 50 мл и времени контакта 2 часа.

Таблица 2 – Концентрация тяжелых металлов с использованием медного купороса
Table 2 – Concentration of heavy metals using copper sulfate

№ п/п	Наименование химического вещества	Концентрация химического вещества, мг/дм ³	Исходная концентрация химического вещества, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³
1	Железо общее	0,37	0,42	0,3
2	Цинк	5,49	5,7	5,0
3	Медь	1,6	1,85	1,0
4	Хром	0,35	0,48	0,5
5	Кадмий	0,0003	0,0003	0,001
6	Свинец	0,0042	0,047	0,03
7	Никель	0,07	0,078	0,1
8	Ртуть	0,0011	0,0012	0,005

Последнее исследование проводилось с катализатором в виде железного купороса. Результаты приведены на графике 2.

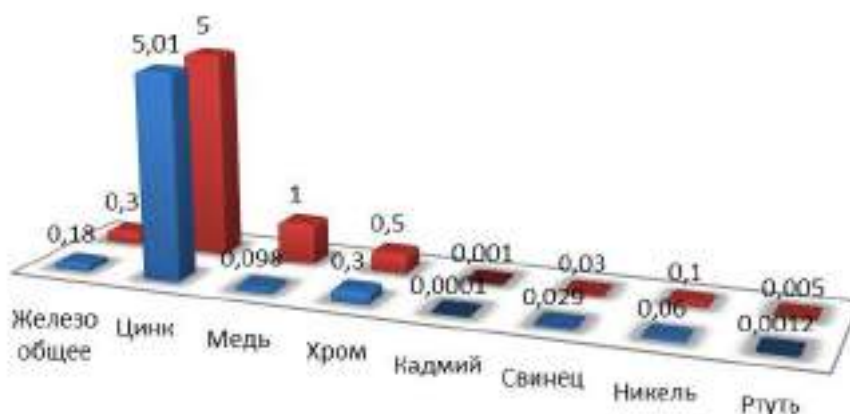


График 2 – Концентрация тяжелых металлов с использованием железного купороса
Graph 2 – Concentration of heavy metals using iron sulfate

Наилучший результат показал катализатор в виде железного купороса, у которого реакция ферритообразования проходила быстрее, чем у оксида алюминия и медного купороса. Отстаивание проводилось в промежутки времени от 0,3 до 4 часов, объем используемой суспензии составил от 20 до 50 мл. При данных параметрах было выявлено, что время контакта катализатора с исследуемыми стоками составило 2 часа, количество суспензии 50 мл. Из графика видно, что концентрация удаляемых химических веществ понизилась до предельно допустимой концентрации и даже некоторые элементы выходят ниже стандарта.

Заключение. Проведя сравнительную оценку катализаторов, можно сделать вывод о том, что наилучшее ферритообразование было с железным купоросом, при контакте суспензии с исследуемыми стоками результат показал, что удаления примесей составило от 90 до 100%. Худшими катализаторами оказались оксид алюминия и медный купорос. При использовании оксида алюминия удаление тяжелых металлов составило всего 10%, а при медном купоросе 15-20%.

Поэтому при сравнительной оценке катализаторов наилучшим можно считать железный купорос, который также считается экологически безопасным реагентом.

Conclusions. Having carried out a comparative assessment of the catalysts, we can draw the following conclusion that the best ferrite formation was with iron sulfate; when the suspension came into contact with the wastewater under study, the result showed that the removal of impurities ranged from 90 to 100%. The worst catalysts were aluminum oxide and copper sulfate. When using aluminum

oxide, the removal of heavy metals was only 10%, and with copper sulfate it was 15-20%. Therefore, in a comparative assessment of catalysts, iron sulfate, which is also considered an environmentally friendly reagent, can be considered the best.

Библиографический список

1. Rybalova O., Artemiev S., Sarapina M., Tsymbal B., Bakhareva A., Shestopalov O., Filenko O. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2 (10-92). Pp. 4-17.
2. Овчинников А. С., Бочарникова О. В., Бочарников В. С. Оценка рентабельности производства овощей в Нижнем Поволжье. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2007. № 1(5). С. 49-53.
3. Овчинников А. С., Бочарников В. С. Новые технические решения повышения эффективности ресурсосберегающих способов полива. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2012. № 1 (25). С. 119-124.
4. Myrzaliev S. K., Pratama G. N. I. P., Khamidulla A. G. Wastewater treatment using natural zeolite materials. *Integrated utilization of mineral raw materials*. 2021. No 2 (317). Pp. 64-68.
5. Bocharnikova O. V., Denisova M. A., Bocharnikov V. S. Technology of preparation of natural waters for irrigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Moscow, 2020. P. 012033.
6. Matsak A., Tsytlshvili K. Using different filter media of stormwater treatment performance. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2018. V. 1 (20). Pp. 19-22.
7. Ovchinnikov A. S., Loboyko V. F., Bocharnikov V. S., et al. State of the small rivers of the Volga basin within the lower Volga. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019*. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. V. 341. P. 012107.
8. Бочарников В. С., Мещеряков М. П., Денисова М. А. Исследование сорбционных свойств сорбентов с использованием ферритовых реагентов при очистке сточных вод. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2019. № 1 (53). С. 242-248.
9. Федотова Ю. В., Спицын А. А. Очистка сточных вод лесохимических производств. *Евразийский союз ученых*. 2019. № 12-5 (69). С. 46-51.
10. Smolyanichenko A. S., Yakovleva E. V. Optimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase-dispersed contaminants. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. V. 14. No 6. P. 34-50.
11. Hajiyeve S. R., Shamilo N. T., Bayramov G. I., Rakida N. M. Ecology effective treatment of industrial wastewater formed in the oil-producing industry by coagulation method. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2021. № 3. Pp. 63-66.
12. Kazeminejadfar F., Hojjati M. R. 2019 Preparation of superabsorbent composite based on acrylic acid-hydroxypropylstarch phosphate and clinoptilolite for agricultural applications. *Applied Polymer Science*. 2019. V. 136 (16). 4736.
13. Kochetov G., Prikhna T., Kovalchuk O., Samchenko D. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method. *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*. 2018. V. 3. Pp. 52–60.
14. Кунденко С. Б., Коваленко Ю. А. Реагентная очистка различных видов сточных вод трехкомпонентной композицией. *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2021. № 1 (46). С. 96-105.
15. Фадеев А. Б., Кручинина Н. Е., Зайцева А. Д. Очистка сточных вод от комплексных соединений меди *Успехи в химии и химической технологии*. 2019. Т. 33. № 5 (215). С. 93-95.

References

1. Rybalova O., Artemiev S., Sarapina M., Tsymbal B., Bakhareva A., Shestopalov O., Filenko O. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2 (10-92). Pp. 4-17.
2. Ovchinnikov A. S., Bocharnikova O. V., Bocharnikov V. S. Evaluation of profitability of vegetable production in the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education* 2007. No 1 (5). Pp. 49-53.

3. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S. New technical solutions to increase the efficiency of resource-saving methods of irrigation. Proc. of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2012. No 1 (25). Pp. 119-124.
4. Myrzaliev S. K., Pratama G. N. I. P., Khamidulla A. G. Wastewater treatment using natural zeolite materials. Integrated utilization of mineral raw materials. 2021. No 2 (317). Pp. 64-68.
5. Bocharnikova O. V., Denisova M. A., Bocharnikov V. S. Technology of preparation of natural waters for irrigation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. P. 012033.
6. Matsak A., Tsytlshvili K. Using different filter media of stormwater treatment performance. Norwegian Journal of development of the International Science. 2018. V. 1 (20). Pp. 19-22.
7. Ovchinnikov A. S., Loboyko V. F., Bocharnikov V. S., et al. State of the small rivers of the Volga basin within the lower Volga. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. V. 341. P. 012107.
8. Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P., Denisova M. A. Study of the sorption properties of sorbents using ferrite reagents for wastewater treatment. Proc. of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2019. No 1 (53). Pp. 242-248.
9. Fedotova Yu. V., Spitsyn A. A. Treatment of wastewater from forest chemical industries. Eurasian Union of Scientists. 2019. No 12-5 (69). Pp. 46-51.
10. Smolyanichenko A. S., Yakovleva E. V. Optimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase-dispersed contaminants. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. V. 14. No 6. P. 34-50.
11. Hajiyeve S. R., Shamilov N. T., Bayramov G. I., Rakida N. M. Ecology effective treatment of industrial wastewater formed in the oil-producing industry by coagulation method. Azerbaijan Chemical Journal. 2021. № 3. Pp. 63-66.
12. Kazeminejadfar F., Hojjati M. R. 2019 Preparation of superabsorbent composite based on acrylic acid-hydroxypropylstarch phosphate and clinoptilolite for agricultural applications. Applied Polymer Science. 2019. V. 136 (16). 4736.
13. Kochetov G., Prikhna T., Kovalchuk O., Samchenko D. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method. Eastern-European J. of Enterprise Technologies. 2018. V. 3. Pp. 52-60.
14. Kundenok S. B., Kovalenko Yu. A. Reagent purification of various types of wastewater using a three-component composition. Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2021. No 1 (46). Pp. 96-105.
15. Fadeev A. B., Kruchinina N. E., Zaitseva A. D. Treatment of wastewater from copper complex compounds Advances in chemistry and chemical technology. 2019. V. 33. No 5 (215). Pp. 93-95.

Информация об авторе

Денисова Мария Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru.

Овчинников Алексей Семенович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru.

Бочарников Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru.

Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru.

Козинская Ольга Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: kozinska1977@mail.ru.

Пустовалов Евгений Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: pustovalov-evgeniy@mail.ru.

Author's Information

Denisova Maria Alekseevna, Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru.

Ovchinnikov Aleksey Semenovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor head of the department of "Applied geodesy, environmental management and water use", Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru.

Bocharnikov Viktor Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru.

Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru.

Kozinskaya Olga Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Environmental Management and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: kozinska1977@mail.ru.

Pustovalov Evgeniy Vasilievich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Environmental Management and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: pustovalov-evgeniy@mail.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-51

OPTIMIZATION OF THE DRYING PROCESS OF GLUTEN-FREE PASTA FROM NON-TRADITIONAL FLOUR RAW MATERIALS: MATHEMATICAL MODELING

A. I. Kabylda, A. S. Kazhybekova, Zh. Z. Urazbayev, N. M. Kerimbekova

*Astana branch of LLP «Kazakh research institute of processing and food industry»
Astana, Kazakhstan*

Corresponding author E-mail: anara121579@gmail.com

Received 22.05.2023

Submitted 30.11.2023

The research was carried out within the framework of the scientific and technical program of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan for 2021-2023 BR10764977 "Development of modern technologies for the production of dietary supplements, enzymes, starter cultures, starch, oils, etc. in order to ensure the development of the food industry"

Summary

In the process of work, the drying temperature of pasta from 50 °C to 60 °C and the drying time from 105 to 110 minutes, during which the drying process of pasta is carried out at optimal humidity values. This model describes the drying process in real form and ensures the convergence of calculations with observations. The model was used to develop a temporary drying protocol for belt conveyor dryers with phased heat supply.

Abstract

Introduction. The drying procedure is the key to obtaining pasta of a given quality and at a certain price. However, the existing models are mainly intended to describe the drying process in a stationary state. **Materials and methods.** The mathematical model of gluten-free pasta drying based on non-traditional raw materials allows us to determine the temperature and humidity gradient curve for tubular pasta. **Results and conclusions.** Thus, a mathematical model was built that allowed to set their optimal values in the right amount, the best settings for minimizing the cost of thermal energy while

maintaining good quality of the dried product are with indicators such as the humidity of pasta (w_m , %) up to 10, the drying temperature of pasta from 50 °C to 60 °C and the drying time from 105 to 110 minutes, during which the drying process of pasta is carried out at optimal humidity values. This model describes the drying process in real form and ensures the convergence of calculations with observations. The model was used to develop a temporary drying protocol for belt conveyor dryers with phased heat supply. The analysis of three-dimensional spatial models shows that in the field of optimal search, the values necessary for the optimality of the optimization criterion are achieved. This means that the degree of change in input factors is taken into account when planning experiments. The following graphs show the optimal ranges of variable values of the drying agent temperature (T_a , °C) and drying time (t_d , min), at which the pasta drying process is most effective, the humidity values are optimal. The dependences $y_n=f(T_a, t_d)$, given from the variables T_a and t_d that determine the drying process, allow us to predict with sufficient accuracy the change in the value of w_m (%) in the studied range of values. At the same time, it is possible to determine the predominant influence of each factor on the efficiency of drying raw pasta from non-traditional ingredients. This information is then used to approximate the kinetics of the technological process in the drying device. Adjustment and optimization of a variety of parameters in the production of pasta led to optimal values of these parameters in the required amount: pasta humidity (wt.%) from 10 to 15, drying temperature from 50 °C to 60 °C and drying time from 105 minutes to 110 minutes.

Key words: rate of pasta drying, functional nutrition, gluten-free products, non-traditional raw materials, food value of pasta, pasta recipe.

Citation. Kabylda A. I., Kazhybekova A. S., Urazbayev Zh. Z., Serikbai G. S. Optimization of the drying process of gluten-free pasta from non-traditional flour raw materials: mathematical modeling. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 507-518 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-51.

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

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

УДК 664.8:577.112.6:519.6

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕТРАДИЦИОННОГО МУЧНОГО СЫРЬЯ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. И. Кабылда, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель проекта

А. С. Кажыбекова, бакалавр техники и технологии, научный сотрудник

Ж. З. Уразбаев, доктор технических наук, научный сотрудник

Н. М. Керимбекова, магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Астанинский филиал ТОО "Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности"

г. Астана, Казахстан

Исследования проводились в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021-2023 годы BR10764977 «Разработка современных технологий производства БАДов, ферментов, заквасок, крахмала, масел и др. в целях обеспечения развития пищевой промышленности»

Актуальность. Процедура сушки является ключом к получению макаронных изделий заданного качества и по определенной цене. Однако существующие модели в основном предназначены для описания процесса сушки в стационарном состоянии. **Материалы и методы.** Математическая модель сушки макаронных изделий без глютена на основе нетрадиционного сырья позволяет определить кривую градиентов температуры и влажности для трубчатых макаронных изделий. **Результаты и выводы.** Таким образом, была построена математическая модель, позво-

лившая установить их оптимальные значения в нужном количестве, самыми наилучшими настройками для минимизации затрат тепловой энергии при сохранении хорошего качества высушиваемого продукта является с такими показателями, как влажность макаронных изделий (wm, %) до 10, температура сушки макаронных изделий от 50 °С до 60 °С и время сушки от 105 до 110 минут, в течение которых процесс сушки макаронных изделий осуществляется при оптимальных значениях влажности. Эта модель описывает процесс сушки в реальном виде и обеспечивает сходимость расчетов с наблюдениями. Модель была использована для разработки протокола временной сушки для ленточных конвейерных сушилок с поэтапной подачей тепла.

Ключевые слова: скорость сушки макаронных изделий, функциональное питание, безглютеновые продукты, нетрадиционное сырье, пищевая ценность макаронных изделий, рецептура макаронных изделий.

Цитирование. Кабылда А. И., Кажыбекова А. С., Уразбаев Ж. З., Серикбай Г. С. Оптимизация процесса сушки безглютеновых макаронных изделий из нетрадиционного мучного сырья: математическое моделирование. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 507-518. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-51.

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. На сегодняшний день дефицит микроэлементов (минералов и витаминов) в рационе населения признан проблемой мирового уровня. Это характерно для всех стран мира – Африки, Азии, Европы и Америки. По мнению экспертов ВОЗ, дефицит микронутриентов (натуральных белков) станет главным кризисом (проблемой) в питании населения мира в XXI веке [1].

Производство безглютеновых макаронных изделий во всем мире является одним из самых перспективных направлений создания инновационных продуктов. Макароны из нетрадиционных ингредиентов имеют ряд преимуществ перед другими видами муки: обладают высокой усвояемостью основных питательных веществ, высокими потребительскими свойствами, длительным сроком хранения, недороги и доступны всем слоям населения [2]. Это имеет особое значение, поскольку современные тенденции в производстве макаронных изделий вызывают интерес к использованию безглютеновых ингредиентов для производства диетических макаронных изделий. В состав этого сырья входит мука, полученная из различных злаков (гречневая, рисовая, кукурузная, ячневая, сорго, овсяная и др. Некоторые из них одновременно повышают биологическую и пищевую ценность продуктов [3]. Эти добавки также сохраняют первичные материалы и повышают их эффективность [4].

Традиционно в качестве сырья для производства макаронных изделий используются твердые сорта пшеницы, которые считаются низкопитательными. В связи с этим можно повысить пищевую ценность макаронных изделий, заменив ингредиенты на пшеницу, кукурузу, просо, гречку, ячмень или овес, а также другие крупы, химически отличающиеся от традиционных ингредиентов (Ким и др., 2017). В результате производство макаронных изделий на основе нетрадиционных ингредиентов является одним из наиболее перспективных направлений создания функциональных продуктов.

Таким образом, обзор текущего состояния макаронной промышленности свидетельствует о том, что отрасль характеризуется динамичным развитием. С каждым годом происходит увеличение производственных мощностей. Основной прирост мощностей происходит преимущественно за счет расширения и реконструкции существующих производственных мощностей, их технического перевооружения, а также посто-

янного расширения ассортимента выпускаемой продукции (Шнейдер, 2012). Стоит отметить высокое качество выпускаемой продукции, характеризующееся отличными потребительскими свойствами. А высококачественное отечественное сырье делает макаронные изделия отечественных предприятий конкурентоспособными на рынках соседних стран и может составить конкуренцию в Центральноазиатском регионе.

Результаты исследований. Макароны, приготовленные из нетрадиционных зерновых ингредиентов, были использованы в качестве объекта исследования для изучения процесса сушки. Тесто для макарон было создано по трем рецептам (таблица 1) из нетрадиционных зерновых ингредиентов. В то же время было добавлено 25% кукурузного крахмала для изменения реологических свойств теста. Тесто, полученное в результате брожения макарон, отличалось от других макаронных масс тем, что замешивалось под большим углом, влажностью 28-38%, состояло из муки, кукурузного крахмала и воды. С тестом непрерывно манипулировали, пока не была получена пластичная масса.

Таблица 1 – Рецептура мучной смеси для приготовления теста для макаронных изделий с содержанием кукурузного крахмала 25%

Table 1 – Recipe of flour mixture for making pasta dough with a corn starch content of 25%

№	Название сырья	Ценности, %	Расчетная питательная ценность смеси
Рецепт №1			
1	кукуруза	33.33	белок – 18,028%; крахмал – 60,256%; клетчатка – 8,076%; жир – 8,61%; зола – 3,664%; энергетическая ценность – 405,847 ккал
2	гречка	33.33	
3	нут	16.67	
4	соя	16.67	
Рецепт №2			
1	кукуруза	50.0	белок – 17,824%; крахмал – 63,076%; клетчатка – 6,684%; жир – 8,348%; зола – 2,946%; энергетическая ценность – 408,028 ккал
2	гречка	16.67	
3	нут	16.67	
4	соя	16.67	
Рецепт №3			
1	кукуруза	35.0	белок – 18,5%; крахмал – 56,7%; клетчатка – 13,23%; жиры – 7,76%; зола – 5,34%; энергетическая ценность – 406,07 ккал
2	нут	15.0	
3	гречка	33.3	
4	соя	16.7	

Тесто для макарон формировалось на первой ступени шнека в камере прессования. Под действием лопасти шнека порошкообразная субстанция постепенно уплотнялась и формовалась. На втором этапе тесто для макарон выдавливается и экструдировается через контейнеры. В результате выдавливания получали трубчатые макаронные изделия в форме трубочек.

После придания макаронам определенной формы начинался процесс сушки макарон. Кроме того, визуальное представление физического процесса сушки макаронных изделий аналогично таковому для других пористых капилляров, результат следующий: первая стадия характеризуется неуклонным снижением содержания влаги в пищевых материалах по мере более глубокого удаления влаги, вторая стадия характеризуется снижением скорости сушки, обезвоживается белковая составляющая продукта,

эта часть продукта сильнее удерживает влагу, чем крахмал. Предпоследний этап – третий и последний процесс сушки. Крайне важно следить за тем, чтобы напряжения сдвига не превышали допустимого предела. Это связано с тем, что продукты в данный момент находятся в состоянии эластичности, и любой излишек приведет к распаду структуры макаронных изделий. В этом конкретном сценарии крайне важно поддерживать равновесие между скоростью испарения влаги с поверхности и скоростью поглощения влаги внутренними слоями из самых внутренних слоев. Это подходящее время, чтобы объединить процесс сушки с ревитализацией.

При рассмотрении визуального представления процесса сушки макаронных изделий становится ясно, что значительное обезвоживание может происходить только на начальных стадиях сушки, когда тесто для макарон находится в податливом состоянии и менее склонно к ломкости. Любая попытка более строго управлять процессом неизбежно приведет к более частому растрескиванию макаронных изделий, повышенному градиенту влажности и повышенному стрессу. Это связано с тем, что тесто для макарон приобрело характеристики эластичного вещества, что делает невозможным дополнительные процессы затвердевания.

Чтобы уменьшить появление трещин в технике, специалисты используют процесс, называемый омоложением или увлажнением. Это связано с увеличением относительной влажности, что приводит к тому, что поверхностный слой становится мягче из-за поглощения влаги. В результате градиент влажности уменьшается, а возникающие из-за него напряжения устраняются. Этот метод наиболее эффективен при использовании при высоких температурах и уровнях влажности, так как эти условия ускоряют скорость диффузии влаги, уменьшая при этом количество влаги, испаряющейся с поверхности.

Для оценки эффективности сушки сырых макаронных изделий контролировали температуру сушильного агента (T_a , в градусах Цельсия) и продолжительность процесса сушки (t_d , в минутах), так как они оба влияют на оптимальное содержание влаги в макаронах (w_m , в процентах). Лабораторный журнал использовался для записи экспериментальных значений процесса, а затем результаты были задокументированы в электронной таблице Microsoft Excel. Затем с использованием этих экспериментальных результатов был построен график зависимости времени высыхания макаронных изделий (t , в минутах) от фиксированных уровней влажности (W , в процентах).

Математическая модель влияния технологических параметров на процесс приготовления макаронных изделий.

Для определения параметров, влияющих на процесс приготовления макаронных изделий, была построена математическая модель технологического процесса, представляющая собой уравнение регрессии, использовался поворотный план второго порядка (Boxing plan) при количестве факторов $K=3$, количестве экспериментов плана составило 20, количество экспериментов в нулевой точке составило 6, а количество коэффициентов уравнения составило 10. На основании экспериментальных исследований процесса приготовления макарон были выявлены следующие факторы: температуры сушильного агента (T_a , °C) и продолжительность сушки (t_d , мин), которые влияют на критерий оптимизации – влажность макаронных изделий w_m ,%. В ходе исследования был определен доверительный интервал точности измерений по всем основным показателям и рассчитаны математические характеристики полученных результатов. В таблице 2 приведены значения уровня и интервалы изменения входных факторов.

Матрица планирования приведена в таблице 3. Коэффициент уравнения регрессии b_i считался значимым, если его абсолютное значение было больше интервала Δb_i . В противном случае это считается незначительным и должно было быть исключено из математической модели. После отсеивания незначимых коэффициентов было выведено уравнение регрессии в его окончательном виде и найден оптимум функции отклика.

Для создания математической модели процесса сушки макаронных изделий, традиционно не изготавливаемых из муки-сырца, при их производстве, представляющей собой уравнение регрессии, применялся ротационный план второго порядка (Box plan), при $K = 2$ число опытов больше 20, количество опытов в нулевой точке равно 6, а количество коэффициентов равно 10.

На основе проведенных экспериментальных исследований процесса сушки образцов макаронных изделий №1, №2, №3, 2 были установлены факторы – температура сушильного агента (T_a , °C) и продолжительность сушки (t_d , мин), влияющие на критерии оптимизации – влажность макаронных изделий w_m , %.

Далее мы закодировали интервалы и уровни изменения входных параметров, которые представлены в таблице 2. Матрица планирования представлена в таблице 3.

Таблица 2 – Кодирование интервалов и уровней вариации входных факторов
Table 2 – Coding of intervals and levels of variation of input factors

Факторы		Уровни вариации Вариация					Интервалы
Естественный	Закодированный	-1,68	-1	0	+1	+1,68	
T_a , °C	x_1	40	45	50	55	60	5
t_d , sec	x_2	37	74	111	148	185	37

Таблица 3 – Матрица ротационного планирования экспериментальных исследований процесса замеса макаронного теста

Table 3 – Matrix of rotational planning of experimental studies of the process of kneading pasta dough

№	Закодированные значения		Естественные ценности		Экспериментальные значения, w_m , %		
	x_1	x_2	T_a , °C	t_c , sec	y_1 Рецепт №1	y_2 Рецепт №2	y_3 Рецепт №3
1	2	3	4	5	6	7	8
1	--	-	55	148	10	9,8	9,9
2	-	+	55	74	14	13,8	14,2
3	+	-45	45	148	15,5	15,2	15,6
4	++	+	45	74	16	15,8	15,9
5-1	,41	0	42,93	111	15,5	15,1	15,6
6	+1,41	0	57,07	111	13	12,8	13,2
7	0-1	1,41	50	58,682	25	25,5	26
8	0	+1,41	50	163,318	22	21,8	22,1
9	0	0	50	111	12	12	12

В таблице 4 приведены значения доверительных интервалов критериев оптимизации процесса измельчения в экспериментальной установке.

Таблица 4 – Значения доверительных интервалов
Table 4 – Values of confidence intervals

Процесс замеса теста	Входные параметры	Доверительные интервалы			
		Δb_0	Δb_i	Δb_{ii}	Δb_{ij}
Рецепт №1, (w_m , %)	y_1	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00
Рецепт №2 (w_m , %)	y_2	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00
Рецепт №3 (w_m , %)	y_3	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00

После вычисления доверительных интервалов мы определили коэффициенты регрессии, представленные в таблице 5, которые будут принимать участие в расшифровке уравнений регрессии.

Таблица 5 – Коэффициенты уравнений регрессии выходных параметров
Table 5 – Coefficients of regression equation of output parameters

№	Критерий оптимизации	Коэффициенты	Значения процесса экструзии
1	Рецепт №1, (w_m ,%)	Для кодированных значений коэффициентов	
		b_0	12,18463
		b_1	-1,40007
		b_2	-1,10914
		b_{12}	-0,88813
		b_{11}	-0,14322
		b_{22}	4,549736
		Для натуральных значений коэффициентов	
		B_0	29,49448
		B_1	0,825746
		B_2	-0,52774
		B_{12}	-0,0048
		B_{11}	-0,00573
		B_{22}	0,003323
		F_p	0
2	Рецепт №2 (w_m ,%)	Для кодированных значений коэффициентов	
		b_0	12,18461
		b_1	-1,3515
		b_2	-1,24741
		b_{12}	-0,86275
		b_{11}	-0,33336
		b_{22}	4,5879
		Для натуральных значений коэффициентов	
		B_0	11,51416
		B_1	1,5808
		B_2	-0,54452
		B_{12}	-0,00466
		B_{11}	-0,01333
		B_{22}	0,003352
		F_p	0
3	Рецепт №3 (w_m ,%)	Для кодированных значений коэффициентов	
		B_0	11,51416
		B_1	1,5808
		B_2	-0,54452
		B_{12}	-0,00466
		B_{11}	-0,01333
		B_{22}	0,003352
		Для натуральных значений коэффициентов	
		B_0	27,01859
		B_1	0,934137
		B_2	-0,53
		B_{12}	-0,00549
		B_{11}	-0,00599
		B_{22}	0,003467
		F_p	0

Далее мы искали оптимум функций отклика с наибольшей точностью (решение компромиссной задачи), не исключая при этом незначимые коэффициенты из уравнений регрессии. Таким образом, уравнения регрессии для процесса прессования макаронного теста, составленные по научно обоснованным рецептам №1, №2, №3 из нетрадиционного мучного сырья в кодированных значениях, примут следующий вид:

$$y_1 = 12,00456 - 1,379375x_1 - 1,09275x_2 - 0,875x_1x_2 - 0,141105x_1^2 + 4,482499x_2^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 12,004542 - 1,331525x_1 - 1,228975x_2 - 0,85x_1x_2 - 0,328436x_1^2 + 4,520099x_2^2; \quad (2)$$

$$y_3 = 0,003302 - 1,3492x_1 - 1,264325x_2 - 1x_1x_2 - 0,147543x_1^2 + 4,676x_2^2; \quad (3)$$

После расшифровки независимых переменных в уравнениях (1-6) мы получаем уравнения регрессии для натуральных значений факторов:

$$w1 = 29,0586 + 0,813543T_a - 0,519939t_c - 0,000473T_a t_c - 0,005644T_a^2 + 0,003274t_c^2; \quad (4)$$

$$w2 = 11,3440 + 1,557438T_a - 0,536475t_c - 0,004595T_a t_c - 0,013137T_a^2 + 0,003302t_c^2; \quad (5)$$

$$w3 = 26,6193 + 0,920332T_a - 0,522171t_c - 0,005405T_a t_c - 0,005902T_a^2 + 0,003416t_c^2; \quad (6)$$

Fр Фишера оценил точность математических моделей, полученных на основе данных. Значения, рассчитанные по Fр, приведены в таблице 5.

В результате, поскольку $F_r < F_{табл}$ является показателем технологичности процесса сушки макаронных изделий из нетрадиционной муки, образцы № 1, № 2 и № 3 можно считать подходящими с доверительной вероятностью 95%.

После канонического преобразования моделей второго порядка были выведены уравнения регрессии в каноническом виде, а значения параметров оптимизации рассчитаны в Microsoft Excel, с использованием этих уравнений создана трехмерная пространственная модель, которая представляла собой плоскость, описывающую зависимости между температурой сушильного агента (T_a , оС) и продолжительностью сушки (t_d , мин), эти факторы повлияли на критерий оптимизации - влажность макаронных изделий w_m , %.

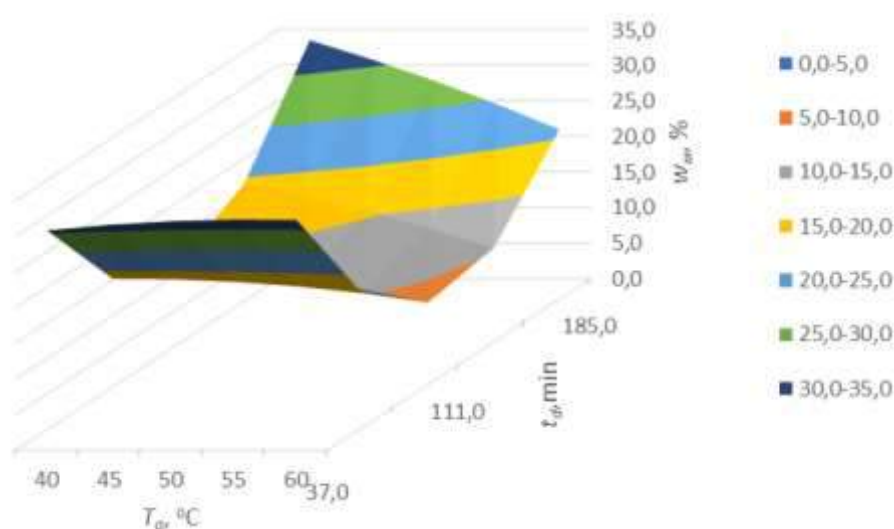


Рисунок 1 – Трехмерная зависимость температуры сушильного агента (t_a , оС) и времени сушки (t_d , мин) от изменения влажности макаронных изделий (w_m ,%), приготовленных по рецепту № 1
Figure 1 – Three-dimensional dependence of the drying agent temperature (t_a , оС) and drying time (t_d , min) from changes in the moisture content of pasta (w_m ,%) prepared according to recipe No. 1

На рисунке 1 показана трехмерная зависимость между температурой сушильного агента (t_a , °C) и временем сушки (t_d , мин) в зависимости от содержания влаги в макаронах (w_m , %), созданных по первому рецепту.

На рисунке 1 показано, что выбранная область входных переменных содержит их оптимальные значения, обеспечивающие максимальный выход сушки макарон. Таким образом, на рисунке 1 показаны оптимальные результаты, полученные при сушке макарон при температуре 60 градусов при 110 мин влажность макарон составила 7,5%, что свидетельствует о том, что температура сушки и время сушки прямо пропорциональны друг другу.

Из рисунка 2 следует, что при температуре сушки макарон 55 градусов при 105 минутах, влажность макаронных изделий составила 8,0%.

На рисунке 3 – температура сушки макарон составила 60 градусов, по времени 105 минут, влажность макарон составила 8,5%.

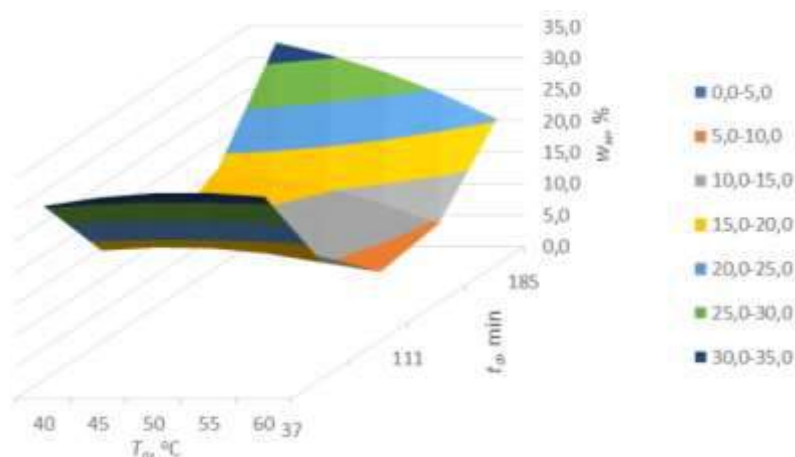


Рисунок 2 – Трехмерная зависимость температуры сушильного агента (t_a , °C) и времени сушки (t_d , мин) от изменения влажности макаронных изделий (w_m , %), приготовленных по рецепту № 2

Figure 2 – Three-dimensional dependence of the temperature of the drying agent (t_a , °C) and the drying time (t_d , min) from changes in the moisture content of pasta (w_m , %) prepared according to recipe No. 2

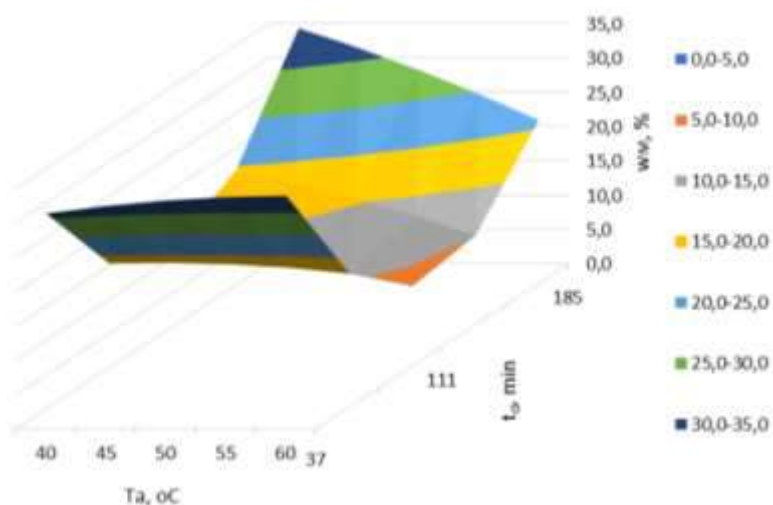


Рисунок 3 - Трехмерная зависимость температуры сушильного агента (t_a , °C) и времени сушки (t_c , мин) от изменения влажности макаронных изделий (w_m , %) приготовлено по рецепту № 3

Figure 3 - Three-dimensional dependence of the temperature of the drying agent (t_a , °C) and the drying time (t_c , min) from changes in the humidity of pasta (w_m , %) prepared according to recipe No. 3

Выводы. Анализ трехмерных пространственных моделей показывает, что в области оптимального поиска достигаются значения, необходимые для оптимальности критерия оптимизации. Это означает, что степень изменения входных факторов учитывается при планировании экспериментов.

На следующих графиках показаны оптимальные диапазоны переменных значений температуры агента сушки (T_a , °C) и времени сушки (t_d , мин), при которых процесс сушки макаронных изделий наиболее эффективен, значения влажности оптимальны.

Зависимости $y_n = f(T_a, t_d)$, приведенные от переменных T_a и t_d , определяющих процесс сушки, позволяют с достаточной точностью прогнозировать изменение величины w_m (%) в исследуемом диапазоне значений. При этом можно определить преимущественное влияние каждого фактора на эффективность сушки сырых макаронных изделий из нетрадиционных ингредиентов. Эта информация затем используется для приблизительного описания кинетики технологического процесса в сушильном устройстве.

Корректировка и оптимизация множества параметров при производстве макаронных изделий привели к оптимальным значениям этих параметров в требуемом количестве: влажность макаронных изделий (мас.%) от 10 до 15, температура сушки от 50 °C до 60 °C и время сушки от 105 минут до 110 минут.

Conclusions. Analysis of three-dimensional spatial models shows that in the optimal search area, the values necessary for the optimality of the optimization criterion are achieved. This means that the degree of change in the input factors is taken into account when planning experiments.

The following graphs show the optimal ranges of the drying agent temperature variables (T_a , °C) and drying time variables (t_d , min) at which the drying process of the pasta is most efficient, the humidity values are optimal.

The dependencies $y_n = f(T_a, t_d)$ given by the variables T_a and t_d determining the drying process make it possible to predict with sufficient accuracy the change in the w_m (%) value in the studied range of values. At the same time, it is possible to determine the advantageous effect of each factor on the drying efficiency of raw pasta from non-traditional ingredients. This information is then used to approximate the process kinetics of the dryer.

Adjustment and optimization of multiple parameters in pasta production resulted in optimal values of these parameters in required quantity: moisture content of pasta (wt%) from 10 to 15, drying temperature from 50 °C to 60 °C and drying time from 105 minutes to 110 minutes.

Библиографический список/ References

1. Collin P., Thorell L., Kaukinen K., Mäki M. The safe threshold for gluten contamination in gluten-free products. Can trace amounts be accepted in the treatment of coeliac disease? *Aliment Pharmacol Ther.* 2004. No 19 (12). Pp. 1277-1283.
2. Makovicky P., Makovicky P., Caja F., Rimarova K., Samasca G., Vannucci L. Celiac disease and gluten-free diet: past, present, and future. *Gastroenterol Hepatol Bed Bench.* 2020. No 13 (1). Pp. 1-7.
3. Yoosuf S., Makharia G. K. Evolving Therapy for Celiac Disease. *Front Pediatr.* 2019. No 7. 193 p.
4. Catassi C., Räscher I. M., Fabiani E., et al. Coeliac disease in the year 2000: exploring the iceberg. *Lancet.* 1994. V. 343 (8891). Pp. 200-203.
5. Samasca G., Lerner A., Girbovan A., et al. Challenges in gluten-free diet in coeliac disease: Prague consensus. *Clin Invest.* 2017. No 47 (5). Pp. 394-397.
6. Kim H. S., Demyen M. F., Mathew J., Kothari N., Feurdean M., Ahlawat S. K. Obesity, Metabolic Syndrome, and Cardiovascular Risk in Gluten-Free Followers Without Celiac Disease in the United States: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2014. *Dig Dis Sci.* 2017. No 62 (9). Pp. 2440-2448.

7. Perrin L., Allès B., Buscail C., et al. Gluten-free diet in French adults without coeliac disease: sociodemographic characteristics, motives and dietary profile. *Nutr.* 2019. No 122 (2). Pp. 231-239.
8. Kabylda A., Sagyntay F., Iztaev A., Muslimov N. Investigation of the influence of non-traditional raw materials on the rheological properties of dough in the production of gluten-free pasta. *The Journal of Hygienic Engineering and Design.* 2022. No 40. Pp. 36-40.
9. Makovický P., Chrenková M., Makovický P., et al. The effect of selected feed mixtures on the duodenal morphology: comparison study. *Physiol Res.* 2018. No 67 (6). Pp. 955-962.
10. Kahraman G., Harsa S., Casiraghi M. C., Lucisano M., Cappa C. Impact of Raw, Roasted and Dehulled Chickpea Flours on Technological and Nutritional Characteristics of Gluten-Free Bread. *Foods.* 2022. No 11 (2). P. 199.
11. Cappa C., Laureati M., Casiraghi M. C., et al. Effects of Red Rice or Buckwheat Addition on Nutritional, Technological, and Sensory Quality of Potato-Based Pasta. *Foods.* 2021. No 10 (1). P. 91.
12. Kahraman G., Harsa S., Lucisano M., Cappa C. Physicochemical and rheological properties of rice-based gluten-free blends containing differently treated chickpea flours *LWT.* 2018. V. 98. Pp. 276-282.
13. Piga A., Conte P., Fois S., et al. Technological, Nutritional and Sensory Properties of an Innovative Gluten-Free Double-Layered Flat Bread Enriched with Amaranth Flour. *Foods.* 2021. No 10 (5). P. 920.
14. Cannas M., Pulina S., Conte P., et al. Effect of Substitution of Rice Flour with Quinoa Flour on the Chemical-Physical, Nutritional, Volatile and Sensory Parameters of Gluten-Free Ladyfinger Biscuits. *Foods.* 2020. No 9 (6). P. 808.
15. Conte P., Pulina S., Del Caro A., et al. Gluten-Free Breadsticks Fortified with Phenolic-Rich Extracts from Olive Leaves and Olive Mill Wastewater. *Foods.* 2021. V. 10 (5). P. 923.
16. Codex Alimentarius 1981:118 Codex standard for Gluten Free Foods. 1983. Joint FAO/WHO Food Standards Programme. WHO, 198. 3 p.
17. Marti A., Pagani M. A. What can play the role of gluten in gluten free pasta? *Trends in Food Science and Technology.* 2013. No 31. Pp. 63-71.

Информация об авторах

Кабылда Анар Идашовна, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель проекта Астанинского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, д. 47), e-mail: anara121579@gmail.com

Кажыбекова Айдана Саниязовна, магистрант 1 курса, научный сотрудник Астанинского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, 47), e-mail: saniyazkyzy@inbox.ru

Уразбаев Жуматай Зейноллаевич, доктор технических наук, директор ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, д. 47), e-mail: zhz1964@mail.ru

Керимбекова Нурай Муратхановна, магистрант 1 курса, научный сотрудник Астанинского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, д. 47), e-mail: kerimbekova_nur@mail.ru

Author's Information

Kabylda Anar Idashovna, Candidate of Agricultural Sciences, Project Manager of Astana Branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: anara121579@gmail.com

Kazhybekova Aydana Saniyazovna, 1st year master's student, researcher of Astana branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: saniyazkyzy@inbox.ru

Urazbaev Zhumatai Zeinollaevich, Doctor of Engineering Sciences, Director of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: zhz1964@mail.ru

Kerimbekova Nurai Murathanovna, 1st year master's student, researcher of Astana branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: kerimbekova_nur@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-52

OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF WIDE-GRIP SPRINKLER EQUIPMENT

**O. V. Kozinskaya, A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, S. V. Tronev,
O. V. Bocharnikova, M. A. Denisova, E. P. Borovoy**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Received 17.09.2023

Submitted 03.11.2023

Summary

The article presents theoretical results on determining optimal (best) parameters of a new wide-spread sprinkler using the Rechtshafner method. The coefficients B_0 , B_i , B_{ij} and B_{ii} were obtained based on experimental data and presented in form of a mathematical model, the significance of which was assessed using the Student's test. For identifying the correctness of the experimental results obtained using the Fisher criterion studied the coefficients gave an error of 5%, which is quite acceptable. As a result of the compromise solution task, we determined the optimal values of factors for the wide-cut section sprinkler.

Abstract

Introduction. Design engineers are tasked with developing a new generation of irrigation equipment using modern construction materials, with reduced energy consumption, with maximum automation, and a wide range of adjustable parameters when used for certain irrigation conditions. The quality of irrigation with a sprinkler is characterized by the uniform distribution of irrigation water over the area. To determine the quality of uniform distribution of artificial rain by wide-span sprinklers, the coefficient of effective irrigation is used, which characterizes the uniformity of the distribution of irrigation water in the irrigated area. **Object.** Wide-span pivot irrigation machine. **Materials and methods.** Theoretical studies were carried out to determine the optimal parameters of a new wide-spread sprinkler using the Rechtshafner method. **Results and conclusions.** The coefficients B_0 , B_i , B_{ij} and B_{ii} were obtained based on experimental data and presented in the form of a mathematical model, the significance of which was assessed using the Student's t-test. To determine the correctness of the obtained experimental results using the Fisher criterion, the studied coefficients gave an error of 5%, which is quite acceptable. As a result of solving the compromise problem, we determined the optimal values that ensure uniform distribution of rain with an effective irrigation coefficient of at least 0.8.

Key words: *sprinkler machines, sprinkler equipment parameters, sprinkler equipment design.*

Citation. Kozinskaya O. V., Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Tronev S. V., Bocharnikova O. V., Denisova M. A., Borovoy E. P. Optimization of design parameters of wide-grip sprinkler equipment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 518-528 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-52.

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

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

УДК 628.16.067.1

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ****О. В. Козинская**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент**А. С. Овчинников**, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук**В. С. Бочарников**, доктор технических наук, профессор**С. В. Тронеv**, доктор технических наук, профессор**О. В. Бочарникова**, доктор технических наук, профессор**М. А. Денисова**, кандидат технических наук, доцент**Е. П. Боровой**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Перед инженерами-проектировщиками ставится задача разработать поливную технику нового поколения с использованием современных конструкционных материалов, с уменьшенным энергопотреблением, с максимальной автоматизацией, широким спектром регулируемых параметров при использовании для определенных условий орошения. Качество полива дождевальной машиной характеризуется равномерностью распределения оросительной воды по площади. Для определения качества равномерного распределения искусственного дождя широкозахватными дождевальными машинами используют коэффициент эффективного полива, характеризующий равномерность распределения оросительной воды на орошаемом участке. **Объект.** Широкозахватная дождевальная машина кругового действия. **Материалы и методы.** Проведены теоретические исследования по определению оптимальных параметров новой широкозахватной дождевальной машины по методике Рехтшафнера. **Результаты и выводы.** Получены коэффициенты B_0 , B_i , B_{ij} и B_{ii} на основании экспериментальных данных и представлены в виде математической модели, значимость которых оценивалась по критерию Стьюдента. Для выявления корректности полученных результатов эксперимента по критерию Фишера изучаемые коэффициенты дали погрешность 5 %, что вполне допустимо. В результате решения компромиссной задачи нами были определены оптимальные значения обеспечивающие равномерное распределение дождя с коэффициентом эффективного полива не менее 0,8.

Ключевые слова: дождевальные машины, параметры дождевальной техники, конструкции дождевальной техники.

Цитирование. Козинская О. В., Овчинников А. С., Бочарников В. С., Тронеv С. В., Бочарникова О. В., Денисова М. А., Боровой Е. П. Оптимизация конструктивных параметров широкозахватной дождевальной техники. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 518-528. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-52.

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 настоящее время большое значение в России уделяется развитию мелиорации, а именно разработке новых ресурсосберегающих технологий, технических средств и в частности, новой дождевальной техники, способной составить конкуренцию зарубежной [1, 2]. Перед инженерами-проектировщиками ставится задача разработать поливную технику нового поколения с использованием современных конструкционных материалов, с уменьшенным энергопотреблением, с максимальной автоматизацией, широким спектром регулируемых параметров при использовании для определенных условий орошения [3, 4]. Источники воды для орошения используются, как правило, поверхностные [5].

При любом способе полива целью является выдача расчетной поливной нормы воды на конкретный орошаемый участок с обеспечением соответствующего качества, экологических требований и рационального использования затрачиваемых ресурсов. Качество полива дождевальной машиной характеризуется равномерностью распределения оросительной воды по площади [6, 7]. Технически она достигается расстановкой дождеобразующих устройств (дождевальных насадок) на водопроводящем поясе дождевальной машины, причем радиус действия между ними должен перекрывать орошаемую площадь. Равномерность распределения дождя при работе дождевальной машины по кругу и равном расстоянии между дождеобразующими устройствами и равном диаметре водопроводящего пояса достигается изменением их расхода при увеличении диаметра сопла, тогда площадь орошения имеет трапецеидальную форму, которая равна сумме трапеций соответствующих расходов участка [8, 9]. Для определения качества равномерного распределения искусственного дождя широкозахватными дождевальными машинами используют коэффициент эффективного полива, характеризующий равномерность распределения оросительной воды на орошаемом участке. По агротехническим требованиям значение его должно быть не менее 0,7, а коэффициенты недостаточного и избыточного полива – не более 0,15 каждый [10, 11].

Материалы и методы. Для проведения исследования по определению оптимальных (наилучших) параметров новой широкозахватной дождевальной машины нами был проведен четырехфакторный эксперимент по методике Рехтшафнера. Для выбранных факторов назначаем верхний, нижний и нулевой уровни и величины варьирования (таблица 1).

Таблица 1 – Условия опыта
Table 1 – Experimental conditions

Факторы	Уровни			Интервал варьирования, ε
	0	–1	+1	
x_1 – диаметр трубопровода, мм	150	100	200	50
x_2 – диаметр насадки, мм	2	1	3	1
x_3 – длина участка, мм	18000	14000	22000	4000
x_4 – расстояние между насадками, мм	2500	2000	3000	500

Выходными показателями послужили коэффициенты эффективного (Кэф), избыточного (Кизб) и недостаточного (Кнед) поливов.

Получены коэффициенты B_0 , B_i , B_{ij} и B_{ii} на основании экспериментальных данных и представлены в виде уравнения (1) значимость которых оценивалась по критерию Стьюдента [12, 13].

$$y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_i x_j + \sum B_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Во внимание не принимались незначимые коэффициенты, вследствие чего нами проводился перерасчет коэффициентов регрессионной модели.

На окончательном этапе получены уравнения регрессии в виде кодировки:

$$K_{эф} = 0,812 - 0,37x_3 + 0,023x_4 - 0,019x_1x_2 + 0,011x_1x_3 - 0,018x_1x_4 - 0,043x_2x_3 - 0,048x_2x_4 - 0,033x_3x_4 - 0,081x_1^2 - 0,113x_2^2 - 0,09x_3^2 - 0,086x_4^2 \quad (2)$$

$$K_{изб} = 0,106 + 0,019x_3 - 0,021x_4 + 0,021x_1x_2 + 0,012x_2x_3 + 0,019x_2x_4 - 0,011x_3x_4 + 0,022x_1^2 + 0,06x_2^2 + 0,035x_3^2 + 0,046x_4^2 \quad (3)$$

$$K_{нед} = 0,082 + 0,018x_3 - 0,002x_4 - 0,002x_1x_2 + 0,011x_1x_3 + \\ + 0,018x_1x_4 + 0,031x_2x_3 + 0,029x_2x_4 + 0,044x_3x_4 + \\ + 0,059x_1^2 + 0,053x_2^2 + 0,055x_3^2 + 0,04x_4^2 \quad (4)$$

Верификация полученных уравнений проверялась по критерию Фишера [12]. Для выявления корректности полученных результатов эксперимента по критерию Фишера коэффициенты $K_{эф} = 1,311$, $K_{изб} = 0,944$ и $K_{нед} = 1,085$ дали погрешность 5 %, что вполне допустимо.

В таблице 2 представлены наилучшие экспериментальные данные.

Таблица 2 – Наилучшие значения факторов
Table 2 – Best values of factors

Фактор	Критерий оптимизации		
	$K_{эф}$	$K_{изб}$	$K_{нед}$
x_1	08/150	0/150	– 0,01/146,5
x_2	0/2	0/2	0/2
x_3	– 0,25/17000	– 0,24/17040	– 0,25/17000
x_4	0,2/2600	0,21/2605	0,19/2595

Примечание: в числителе – кодированный вид, в знаменателе – раскодированный вид.

Стандартный вид математической модели представлен уравнением второго порядка:

$$Y - Y_s = B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{33}x_3^2 + B_{44}x_4^2 \quad (5)$$

где Y – значение критерия оптимизации; Y_s – значение критерия оптимизации в значимой точке; $X_1, X_2, \dots, X_k$ – новые оси координат, повернутые относительно старых $x_1, x_2, \dots, x_k$; $B_{11}, B_{22}, \dots, B_{kk}$ – коэффициенты регрессии в канонической форме.

Результаты и обсуждение. В результате проведения расчетов, получены коэффициенты регрессии в стандартной форме $B_{11}, B_{22}, B_{33}, B_{44}$ и значения критерия оптимизации в значимой точке Y_s .

Приведем уравнения регрессии (2), (3), (4) к стандартной форме:

$$Y_{K_{эф}} - 0,818 = -0,054x_1^2 - 0,138x_2^2 - 0,091x_3^2 - 0,085x_4^2 \quad (6)$$

$$Y_{K_{изб}} - 0,102 = 0,019x_1^2 + 0,068x_2^2 + 0,032x_3^2 + 0,044x_4^2 \quad (7)$$

$$Y_{K_{нед}} - 0,08 = 0,064x_1^2 + 0,045x_2^2 + 0,081x_3^2 + 0,017x_4^2 \quad (8)$$

На основании уравнений (6), (7) и (8) можно сделать вывод, что оптимальные значения координаты центров поверхностей наилучших факторов представлены в виде четырехмерных параболоидов.

Представленные двумерные сечения на рисунках 1-6 дадут возможность решить компромиссную задачу с целью определения наилучших параметров, где коэффициент эффективного полива ($K_{эф}$) является основным критерием оптимизации, а коэффициенты избыточного ($K_{изб}$) и недостаточного ($K_{нед}$) поливов – дополнительными.

Были выбраны варианты определения значения факторов при максимальном коэффициенте эффективного полива и минимальных коэффициентах недостаточного и избыточного поливов.

Уравнения регрессии применительно к выбранным нами факторам (x_1) и (x_2) представлены двумерным сечением поверхности относительно факторов (x_3) и (x_4), которые фиксировались на уровнях оптимальных критерию оптимизации: $x_3 = -0,25$ и $x_4 = 0,2$, тогда оптимальные значения будут находиться в пределах: $x_1 = -0,2 \dots +0,1$ и $x_2 = -0,1 \dots +0,1$, (рисунок 1).

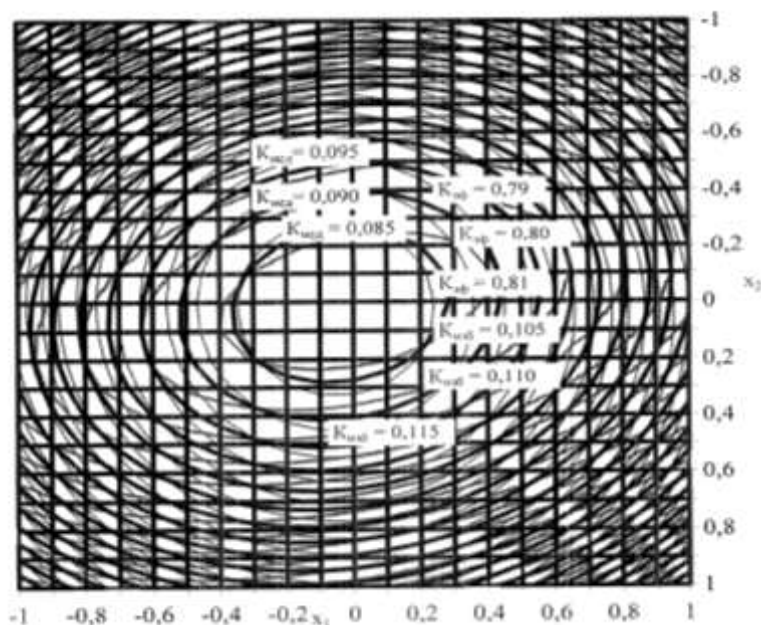


Рисунок 1 – Двумерное сечение для изучения влияния диаметра трубопровода и диаметра насадка при $x_3 = -0,25$ и $x_4 = 0,2$ на значения коэффициентов эффективного ($K_{эф}$), избыточного ($K_{изб}$) и недостаточного ($K_{нед}$) поливов

Figure 1 – Two-dimensional cross-section for studying the influence of factors x_1 and x_2 at $x_3 = -0,25$ and $x_4 = 0,2$ on the values of the coefficients of effective ($K_{эф}$), excessive ($K_{изб}$) and insufficient ($K_{нед}$) irrigation

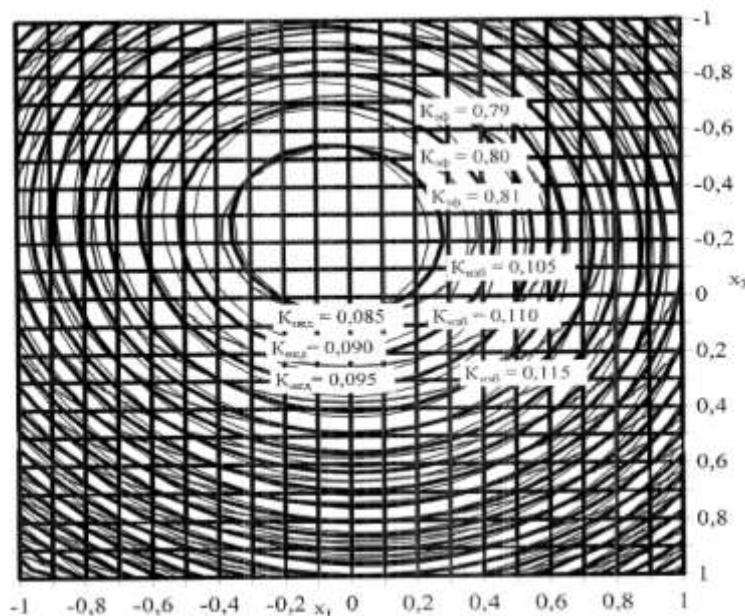


Рисунок 2 – Двумерное сечение для изучения влияния диаметра трубопровода и длины участка при $x_2 = 0$ и $x_4 = 0,2$ на значения коэффициентов эффективного ($K_{эф}$), избыточного ($K_{изб}$) и недостаточного ($K_{нед}$) поливов

Figure 2 – Two-dimensional cross-section for studying the influence of the pipeline diameter and the length of the section at $x_2 = 0$ and $x_4 = 0,2$ on the values of the coefficients of effective ($K_{эф}$), excessive ($K_{изб}$) and insufficient ($K_{нед}$) irrigation

На основании рисунка 2 видно, что уравнения регрессии применительно к выбранным нами факторам (x_1) и (x_3) представлены двумерным сечением поверхности относительно факторов (x_2) и (x_4), которые фиксировались на уровнях оптимальных критерию оптимизации: $x_3 = 0$ и $x_4 = 0,2$, тогда оптимальные значения будут находиться в пределах: $x_1 = -0,2 \dots +0,1$ и $x_3 = -0,4 \dots -0,1$.

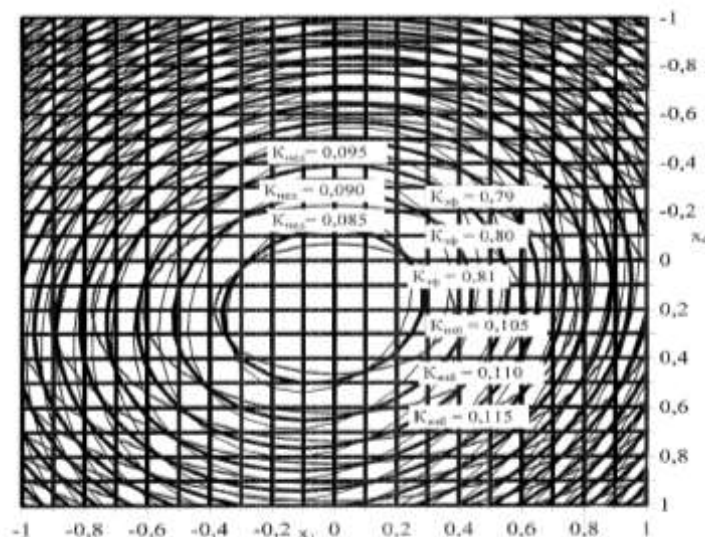


Рисунок 3 – Двумерное сечение для изучения влияния диаметра трубопровода и расстояния между насадками при $x_2 = 0$ и $x_3 = -0,25$ на значения коэффициентов эффективного ($K_{эф}$), избыточного ($K_{изб}$) и недостаточного ($K_{нед}$) поливов

Figure 3 – Two Two-dimensional cross-section for studying the effect of the pipeline diameter and the distance between the nozzles at $x_2 = 0$ and $x_3 = -0,25$ on the values of the coefficients of effective (K_{ef}), excessive (K_{ins}) and insufficient (K_{ex}) irrigation

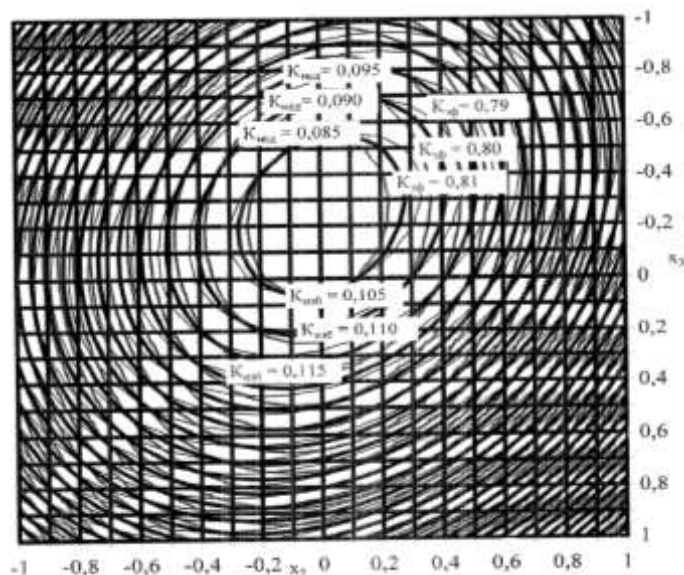


Рисунок 4 – Двумерное сечение для изучения влияния диаметра насадки и длины участка при $x_1 = 0$ и $x_4 = 0,2$ на значения коэффициентов эффективного ($K_{эф}$), избыточного ($K_{изб}$) и недостаточного ($K_{нед}$) поливов

Figure 4 – Two-dimensional cross-section to study the influence of nozzle diameter and section length at $x_1 = 0$ and $x_4 = 0,2$ on the values of the coefficients of effective (K_{ef}), excessive (K_{ins}) and insufficient (K_{ex}) irrigation

На основании рисунка 3 видно, что уравнения регрессии применительно к выбранным нами факторам (x_1) и (x_4) представлены двумерным сечением поверхности относительно факторов (x_2) и (x_3), которые фиксировались на уровнях оптимальных критерию оптимизации: $x_3 = 0$ и $x_4 = -0,25$, тогда оптимальные значения будут находиться в пределах: $x_1 = -0,1 \dots +0,1$ и $x_4 = +0,1 \dots +0,3$.

На основании рисунка 4 видно, что уравнения регрессии применительно к выбранным нами факторам (x_2) и (x_3) представлены двумерным сечением поверхности относительно факторов (x_1) и (x_4), которые фиксировались на уровнях оптимальных критерию оптимизации: $x_3 = 0$ и $x_4 = 0,2$, тогда оптимальные значения будут находиться в пределах: $x_1 = -0,1 \dots +0,1$ и $x_3 = -0,4 \dots -0,1$.

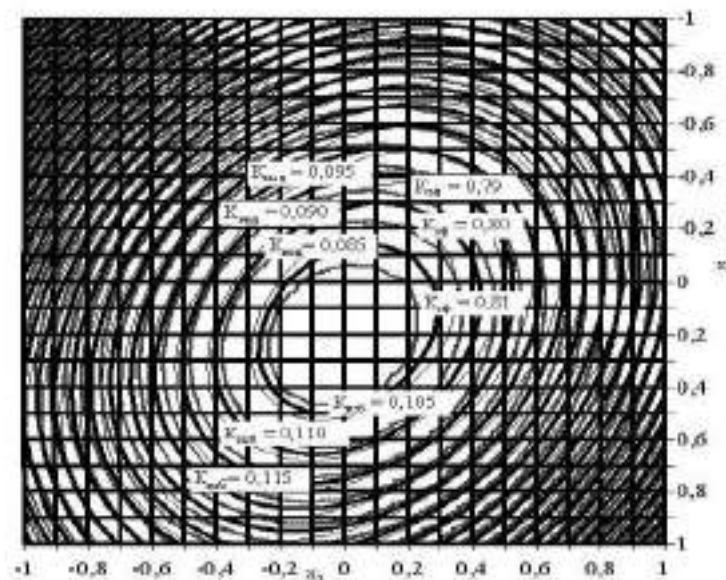


Рисунок 5 – Двумерное сечение для изучения влияния факторов диаметра насадка и расстояния между насадками при $x_1 = -0,01$ и $x_3 = 0,02$ на значения коэффициентов эффективного ($K_{эф}$), избыточного ($K_{изб}$) и недостаточного ($K_{нед}$) поливов

Figure 5 – Two-dimensional cross section for studying the influence of factors of nozzle diameter and distance between nozzles at $x_1 = -0.01$ and $x_3 = 0.02$ on the values of the coefficients of effective (K_{ef}), excessive (K_{ins}) and insufficient (K_{ex}) irrigation

На основании рисунка 5 видно, что уравнения регрессии применительно к выбранным нами факторам (x_2) и (x_4) представлены двумерным сечением поверхности относительно факторов (x_1) и (x_3), которые фиксировались на уровнях оптимальных критерию оптимизации: $x_1 = -0,01$ и $x_3 = -0,02$, тогда оптимальные значения будут находиться в пределах: $x_2 = -0,1 \dots +0,1$ и $x_4 = +0,1 \dots +0,3$.

На основании рисунка 6 видно, что уравнения регрессии применительно к выбранным нами факторам (x_3) и (x_4) представлены двумерным сечением поверхности относительно факторов (x_1) и (x_2), которые фиксировались на уровнях оптимальных критерию оптимизации: $x_3 = 0$ и $x_4 = 0$, тогда оптимальные значения будут находиться в пределах: $x_2 = -0,4 \dots -0,1$ и $x_4 = +0,1 \dots +0,3$.

Для того чтобы обеспечить максимальное значение коэффициента эффективного полива ($K_{эф} = 0,81$) при минимальных значениях коэффициентов избыточного ($K_{изб} = 0,105$) и недостаточного ($K_{нед} = 0,085$) поливов следует сочетать следующие наилучшие значения факторов: $x_1 = -0,2 \dots +0,1$ (140...155 мм), $x_2 = -0,1 \dots +0,1$ (1,9...2,1 мм), $x_3 = -0,4 \dots -0,1$ (16400...17600 мм) и $x_4 = +0,1 \dots +0,3$ (2550...2650 мм).

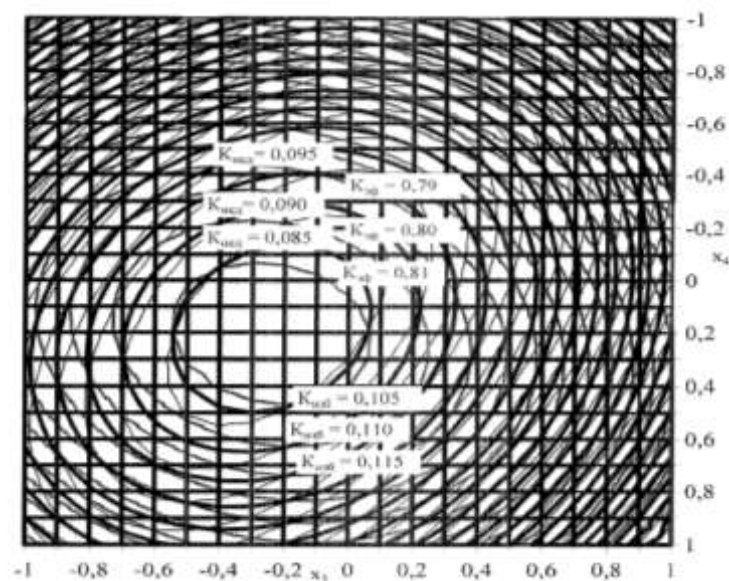


Рисунок 6 – Двумерное сечение для изучения влияния длины участка и расстояния между насадками при $x_1 = 0$ и $x_2 = 0$ на значения коэффициентов эффективного ($K_{эф}$), избыточного ($K_{изб}$) и недостаточного ($K_{нед}$) поливов

Figure 6 – Two Two-dimensional cross section to study the influence of the length of the section and the distance between the nozzles at $x_1 = 0$ and $x_2 = 0$ on the values at $x_1 = 0$ and $x_2 = 0$ on the values of the coefficients of effective ($K_{эф}$), excessive ($K_{изб}$) and insufficient ($K_{нед}$) irrigation

Закключение. В результате решения компромиссной задачи нами были определены оптимальные значения факторов, в частности диаметр трубопровода, длина участка трубопровода, расстояние между насадками, обеспечивающие равномерное распределение дождя с коэффициентом эффективного полива не менее 0,8.

Conclusions. As a result of solving the compromise problem, we determined the optimal values of the factors, in particular the diameter of the pipeline, the length of the pipeline section, the distance between the nozzles, ensuring uniform distribution of rain with an effective irrigation coefficient of at least 0.8.

Библиографический список

1. Дубенок Н. Н., Ольгаренко Г. В. Перспективы восстановления мелиоративного комплекса Российской Федерации. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 56-59.
2. Olgarenko G. V., Olgarenko V. I., Olgarenko I. G., Olgarenko V. I. Justification of methodological approaches to standardisation of irrigation as an element of resource saving and minimization of the anthropogenic load on agrobiocenosis. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific Conference on Efficient Waste Treatment 2018, EWT 2018. 2019. P. 012027.
3. Шевченко В. А., Щедрин В. Н., Куприянова С. В. Задачи и проблемы восстановления оросительных мелиораций на юге России. Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 28-32.
4. Юрченко И. Ф. Перспективные технологии инновационного орошения. Мелиорация и гидротехника. 2022. № 4 (12). С. 20-23.
5. Ovchinnikov A. S., Loboyko V. F., Bocharnikov V. S., et al. State of the small rivers of the Volga basin within the lower Volga. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. V. 341. P. 012107.
6. Chernovolov V. A., Kravchenko L. V., Litvinov V. B., Nikitina A. N., Filina A. A. Computational Mathematics and Information Technologies. Robabilistic modeling of overhead irrigation processes. 2019. № 1. V. 1. Pp. 50-63.

7. Черноволов В. А., Кравченко Л. В., Протасов Д. Н. Расчет показателей равномерности дождевания по результатам испытания аппарата радиальным методом. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 1 (21). С. 182-195.

8. Желязко В. И., Лукашевич В. М. Способы повышения качества дождевания при поливе машиной BAUER "RAINSTAR-61". Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 3. С. 25-27.

9. Bocharnikov V. S., Kozinskaya O. V., Denisova M. A., Bocharnikova O. V., Repenko T. V., Pustovalov E. V. Effect of the structure of artificial rain on the soil IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 965 (1). 012008.

10. Есин А. И., Соловьев Д. А., Журавлева Л. А. Исследование характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальных машин. Научная жизнь. 2018. № 2. С. 16-25.

11. Овчинников А. С., Бочарников В. С. Новые технические решения повышения эффективности ресурсосберегающих способов полива. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1 (25). С. 119-124.

12. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В., Дезюра С. Д., Герасименко М. В., Ольгаренко В. И. Система интегральных показателей оценки эффективности водопользования. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 1 (33). С. 139-152.

13. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Тронеv С. В., Мещеряков М. П., Бочарникова О. В., Несмиянов И. А., Воробьева Н. С. Оптимизация основных параметров трубчатых оросительных систем. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 303-309.

References

1. Dubenok N. N., Olgarenko G. V. Prospects for the restoration of the reclamation complex of the Russian Federation. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2021. № 2. S. 56-59.

2. Olgarenko G. V., Olgarenko V. I., Olgarenko I. G., Olgarenko V. I. Justification of methodological approaches to standardisation of irrigation as an element of resource saving and minimization of the anthropogenic load on agrobiocenosis. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific Conference on Efficient Waste Treatment 2018, EWT 2018. 2019. P. 012027.

3. Shevchenko V. A., Shchedrin V. N., Kupriyanova S. V. Tasks and problems of restoring irrigation reclamation in southern Russia. Reclamation and water management. 2023. № 3. Pp. 28-32.

4. Yurchenko I. F. Promising technologies of innovative irrigation. Reclamation and hydraulic engineering. 2022. № 4 (12). Pp. 20-23.

5. Ovchinnikov A. S., Loboyko V. F., Bocharnikov V. S., et al. State of the small rivers of the Volga basin within the lower Volga. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. V. 341. P. 012107.

6. Chernovolov V. A., Kravchenko L. V., Litvinov V. B., Nikitina A. N., Filina A. A. Computational Mathematics and Information Technologies. Robabilistic modeling of overhead irrigation processes. 2019. № 1. V. 1. Pp. 50-63.

7. Chernovolov V. A., Kravchenko L. V., Protasov D. N. Calculation of sprinkling uniformity indicators based on the results of testing the apparatus by the radial method. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems. 2016. № 1 (21). Pp. 182-195.

8. Zhelyazko V. I., Lukashevich V. M. Ways to improve the quality of sprinkling when watering with the BAUER "RAINSTAR-61" machine. Reclamation and water management. 2015. № 3. Pp. 25-27.

9. Bocharnikov V. S., Kozinskaya O. V., Denisova M. A., Bocharnikova O. V., Repenko T. V., Pustovalov E. V. Effect of the structure of artificial rain on the soil IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 965 (1). 012008.

10. Esin A. I., Soloviev D. A., Zhuravleva L. A. Research of water flow characteristics in the water supply belt of sprinkler machines. Scientific life. 2018. № 2. Pp. 16-25.

11. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S. New technical solutions to increase the efficiency of resource-saving irrigation methods. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2012. № 1 (25). Pp. 119-124.

12. Olgarenko V. I., Olgarenko I. V., Desyura S. D., Gerasimenko M. V., Olgarenko V. I. System of integral indicators for assessing the effectiveness of water use. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems*. 2019. № 1 (33). Pp. 139-152.

13. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Tronev S. V., Meshcheryakov M. P., Bocharnikova O. V., Nesmiyanov I. A., Vorobyova N. S. Optimization of the main parameters of tubular irrigation systems. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2018. № 2 (50). Pp. 303-309.

Информация об авторах

Козинская Ольга Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: kozinska1977@mail.ru

Овчинников Алексей Семенович, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru

Бочарников Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Тронеv Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: stronev@mail.ru

Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Денисова Мария Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru

Боровой Евгений Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Мелиорация земель и комплексное использование водных ресурсов», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

Author's Information

Kozinskaya Olga Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Environmental Management and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: kozinska1977@mail.ru

Ovchinnikov Aleksey Semenovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor, head of the department of “Applied geodesy, environmental management and water use”, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru.

Bocharnikov Viktor Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru.

Tronev Sergey Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, professor of the department “Operation and technical service of machines in the agro-industrial complex”, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: stronev@mail.ru

Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Denisova Maria Alekseevna, Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru

Borovoy Evgeny Pavlovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department "Land Reclamation and Integrated Use of Water Resources", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-53

CLEANING WATER CONSUMPTION IN MILKING PARLOURS CAROUSEL

T. Yu. Mironova, V. V. Gordeev, S. V. Kovalev, T. I. Gordeeva

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM
Saint Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: mironova-tat@mail.ru

Received 17.07.2023

Submitted 10.10.2023

Summary

The article presents an analysis of the actual water consumption for cleaning each zone of various technological operations during the operation of a milking parlor of the "Carousel" type in the conditions of an operating farm. The data obtained can be used at the design stage to calculate the consumption of water resources and the amount of sewage contaminated with manure that requires further storage and disposal.

Abstract

Introduction. The capacity of livestock complexes on an industrial basis is increasing, both in the whole country and in the Leningrad region. In agricultural organizations of the Leningrad region, the majority of cows are milked in milking parlors. On large dairy farms, it is recommended to use automated rotating milking parlors, the specific area of which, taking into account the holding area and galleries, is on average 8.8% of the animal placement area. These areas should always be kept clean and their washing is carried out, as a rule, after each milking. The purpose of the research is to analyze the actual water consumption for cleaning each zone of various technological operations during the operation of a milking parlor of the "Carousel" type in the conditions of an operating farm. **Object.** The object of research is the milking and dairy unit. **Materials and methods.** The research was carried out during the operation of a milking parlor with a Carousel-type installation for 50 seats in an operating farm with an average milking herd of 1200 heads and triple milking. Water consumption was recorded every hour in automatic mode in various areas of the milking parlor. The total area requiring cleaning was 925 m². **Results and conclusions.** During the monitoring, the average daily water consumption in the milking parlor was 33.5 m³. The main amount of water (45.8%) is spent on cleaning the udders of animals and maintaining cleanliness in the milking parlor during and after milking, 29.3% – on cleaning the pre-milking area and the area of entry and exit of animals to the milking unit, 23.4% – on cleaning the sanitary zone and hoof treatment, 1.5% – on cleaning the maintenance area (inner circle) of the milking machine. The average daily water consumption per unit area when washing the floor and fences in different areas ranges from 5.6 to 49.3 l/(m²·day), depending on the washing zone and the degree of its contamination. The data obtained can be used at the design stage to calculate the consumption of water resources and the amount of sewage contaminated with manure that requires further storage and disposal.

Key words: manure-bearing wastewater, milking rooms, cleaning of milking rooms, water consumption, milking plants.

Citation. Mironova T. Yu, Gordeev V. V., Kovalev S. V., Gordeeva T. I. Cleaning water consumption in milking parlours Carousel. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 528-538 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-53.

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

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

УДК 631.22

РАСХОД ВОДЫ ДЛЯ УБОРКИ ДОИЛЬНОГО ЗАЛА ТИПА «КАРУСЕЛЬ»**Т. Ю. Миронова**, кандидат технических наук**В. В. Гордеев**, кандидат технических наук, доцент**С. В. Ковалёв**, младший научный сотрудник**Т. И. Гордеева**, кандидат технических наук, доцент

*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства –
филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Актуальность. Мощность животноводческих комплексов на промышленной основе увеличивается как в целом по стране, так и в Ленинградской области. В сельскохозяйственных организациях Ленинградской области основная доля коров доится в доильных залах. На крупных молочных фермах рекомендуется использовать вращающиеся доильные залы автоматизированного типа, удельная площадь которых, с учётом преддоильной площадки и галерей, составляет в среднем 8,8% от площадей размещения животных. Эти площади всегда должны поддерживаться в чистоте, и их мытьё проводят, как правило, после каждого доения. Цель исследований – анализ фактического расхода воды на уборку каждой зоны выполнения различных технологических операций при эксплуатации доильного зала типа «Карусель» в условиях действующего хозяйства. **Объект.** Объектом исследований является доильно-молочный блок. **Материалы и методы.** Исследования проведены при эксплуатации доильного зала с установкой типа «Карусель» на 50 мест в условиях действующего хозяйства со средним поголовьем дойного стада 1200 голов и трехкратным доением. Расход воды фиксировался каждый час в автоматическом режиме в различных зонах доильного зала. Общая площадь, требующая уборки, составляла 925 м². **Результаты и выводы.** За время проведения мониторинга среднесуточный расход воды в доильном зале составил 33,5 м³. Основное количество воды (45,8%) расходуется на очистку вымени животных и поддержание чистоты в доильном зале во время и после доения, 29,3% – на уборку преддоильной площадки и зоны входа-выхода животных на доильную установку, 23,4% – на уборку санитарной зоны и обработку копыт, 1,5% – на уборку зоны технического обслуживания (внутреннего круга) доильной установки. Среднесуточный расход воды на единицу площади при мытьё пола и ограждений на разных участках составляет от 5,6 до 49,3 л/(м²·сут.) в зависимости от зоны мытьё и степени её загрязнения. Полученные данные могут быть использованы на стадии проектирования для расчета потребления водных ресурсов и количества, загрязненных навозом сточных вод, требующих дальнейшего хранения и утилизации.

Ключевые слова: навозосодержащие стоки, доильные залы, уборка доильных залов, расход воды, доильные установки.

Цитирование. Миронова Т. Ю., Гордеев В. В., Ковалёв С. В., Гордеева Т. И. Расход воды для уборки доильного зала типа «Карусель». *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 528-538. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-53.

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. По данным Росстата за 2022 г. Ленинградская область произвела около 32% молока во всем СЗФО и является одним из двух его субъектов, где не сократилось поголовье коров за последний год. На эффективность производства молока в значительной степени влияют мощности фермы [1-3], технология содержания [2, 4, 5, 6], кормление [6, 7] и особенно доение [1, 5, 7, 8]. Тенденция увеличения мощности животноводческих комплексов на промышленной основе, как в целом по стране (рисунок 1), прослеживается и в Ленинградской области.

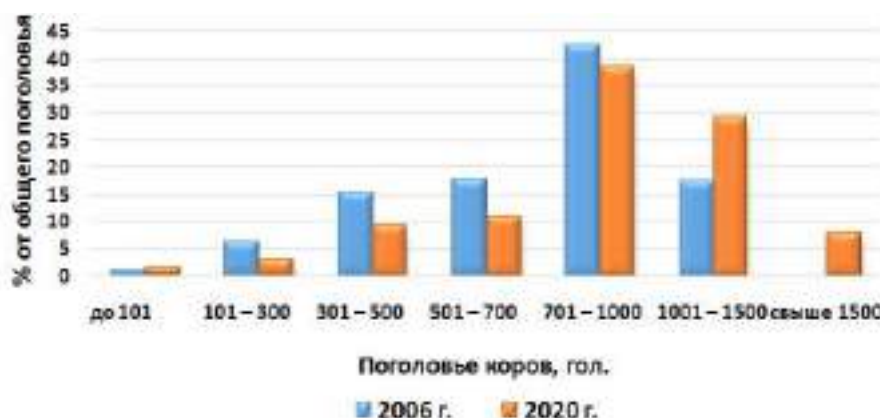


Рисунок 1 – Группировка сельскохозяйственных предприятий по поголовью коров в России
Figure 1 – Grouping of agricultural enterprises by number of cows in Russia

В сельскохозяйственных организациях Ленинградской области основная доля коров доится в доильных залах различного типа [9, 10, 11]. Площадь доильного зала зависит от размера доильной установки, которая выбирается исходя из количества дойных коров и планируемой продолжительности их разового доения. В зависимости от типа доильной установки удельная технологическая площадь доильного зала, приходящаяся на один доильный пост, может составлять от 4,2 до 12,5 м² [12, 13].

На крупных молочных фермах рекомендуется использовать вращающиеся доильные залы автоматизированного типа [8, 14]. По нашим подсчётам, из анализа планировочных решений коровников и доильных залов для различных вариантов размещения коров для фермы на 1200 дойных голов с беспривязно-бوكсовым содержанием¹, удельная площадь доильного зала типа «Карусель», с учётом преддоильной площадки и галерей, составляет от 0,72 м²/гол. до 0,96 м²/гол. и в среднем 8,8% от площадей коровников, где размещены животные. Эти площади всегда должны поддерживаться в чистоте. На их уборку и эксплуатацию может расходоваться до 14-19,4% всех водных ресурсов, используемых фермой [15, 16]. В зарубежных исследованиях имеются данные по расходу воды для мытья внешней поверхности доильного оборудования и пола в доильных залах «Параллель», «Елочка» и при роботизированном доении [15, 17, 18, 19]. Информации о детальных экспериментальных исследованиях расхода воды в доильных залах «Карусель» представлено недостаточно. Согласно нормам технологического проектирования² на уборку доильного зала расход воды в сутки составляет 5 л/м². Весь доильный зал занимает довольно значительные площади, которые можно разделить на отдельные зоны, в каждой из которых выполняется своя технологическая операция. В доильных залах типа «Карусель» можно выделить зоны доильной платформы, входа-выхода животных, работы оператора, обслуживания установки, преддоильной площадки. Кроме того, в большинстве случаев в доильном зале расположена санитарная зона, где проводятся зооветеринарные мероприятия.

Цель исследований – анализ фактического расхода воды на уборку каждой зоны выполнения различных технологических операций при эксплуатации доильного зала типа «Карусель» в условиях действующего хозяйства.

¹ Гордеев В. В., Хазанов В. Е., Яковлева А. В. Анализ планировочных решений коровников для нового строительства. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 87. С. 185-195.

² Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.01-18. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 166 с

Полученные данные могут быть использованы на стадии проектирования для расчета потребления водных ресурсов, например при использовании методики расчета технологических площадей доильных залов [12, 13] и количества загрязненных навозом сточных вод, требующих дальнейшего хранения и утилизации, в частности по методике [20].

Материалы и методы. Определение фактических значений расхода воды в доильном зале проводили в одном из хозяйств Северо-Западного региона с трехкратным доением на установке типа «Карусель» с внешним обслуживанием на 50 мест. Общее поголовье дойного стада составляет в среднем 1200 коров черно-пестрой породы. Годовой среднесуточный удой – 40 л/гол. Для очистки вымени у коров перед доением используют скруббер. Основная площадь доильного зала – 386 м², из которой площадь зоны обслуживания составляет 85,6 м². Площадь зоны входа-выхода животных на доильную установку – 34 м², преддоильной площадки – 230 м², санитарной зоны с проходами – 275 м² (рисунок 2).

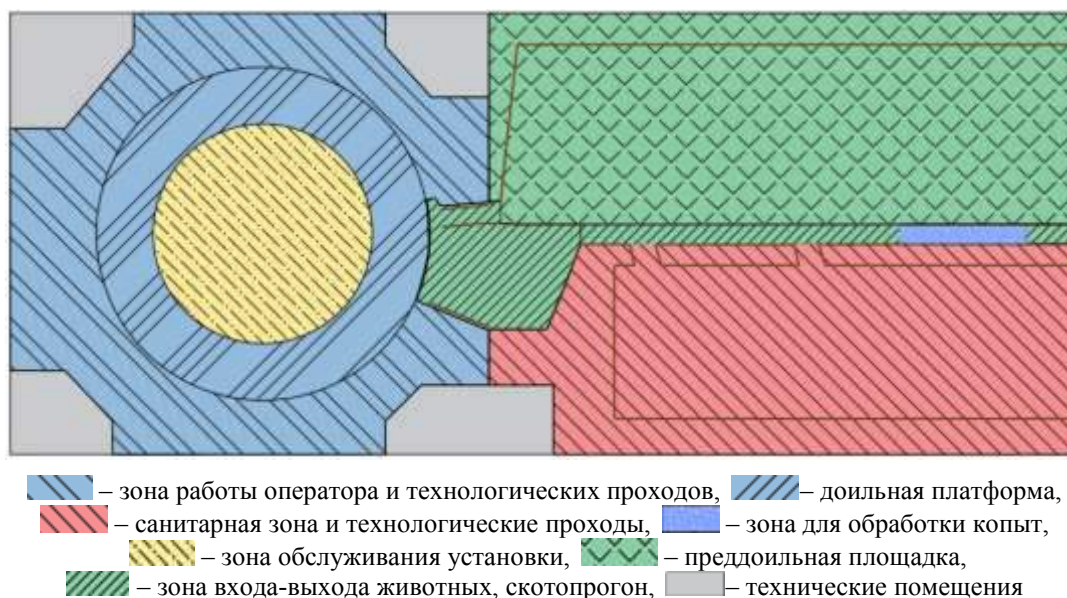


Рисунок 2 – Схема доильного зала
Figure 2 – Diagram of the milking parlor

Общая площадь, требующая уборки, составляет 925 м². Пол преддоильной площадки – сплошной, бетонный, покрыт резиновыми ковриками. Вокруг доильной установки лежит дорожка из резиновых коврик. На преддоильной площадке работает подгонщик со скребком, скребок счищает экскременты с пола в навозный канал со второй половины доения. Пол санитарной зоны – щелевой. Уборка доильного зала и преддоильной площадки выполняется после каждого доения, санитарной зоны – 1 раз в сутки. Подача воды осуществляется из шлангов D 20 мм, для уборки зоны технического обслуживания доильной установки, преддоильной площадки, санитарной зоны дополнительно используются высоконапорные установки Karcher. В доильном зале 3 раза в неделю проводят обработку копыт. Для этого выход из доильного зала оборудован ванной объемом 200 л, смену раствора осуществляют 7 раз за одну обработку всего поголовья. Использованный раствор поступает в навозный канал. Перед обработкой копыта коров очищают, обмывая проточной водой из шланга.

Определение количества воды, используемой для мытья пола и загрязненных навозом поверхностей в доильном зале, осуществлялось при помощи электронных расходомеров Пульсар М ДУ-15 (Россия), установленных непосредственно перед узлами подключения ис-

пользуемого оборудования (таблица 1). Показания расходомеров фиксировались каждый час в автоматическом режиме с записью во внутреннюю память. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений 2 – 5%. Для получения статистических средних значений и построения диаграмм использован пакет Microsoft Office Excel 2007. В обработку вошли данные расхода воды за 18 дней июля – августа и 45 дней сентября-октября.

Таблица 1 – Точки подключения электронных расходомеров

Table 1 – Connection points of electronic flowmeters

Номер точки подключения	Выполняемые операции	Периодичность	Используемое оборудование	Площадь мытья, м ²	Условное обозначение на схеме
1	Уборка доильного зала	3 раза в сутки	Шланг D 20	300,4	
	Очистка вымени перед доением		Скруббер для обработки сосков вымени		
2	Уборка санитарной зоны	1 раз в сутки	Шланг D 20. Аппарат высокого давления Karcher Professional	275	
	Обмывание копыт проточной водой, наполнение ванн для обработки копыт	3 раза в неделю	Шланг D 20		
3	Уборка зоны технического обслуживания (внутреннего круга) доильной установки	3 раза в сутки	Шланг D 20. Минимойка высокого давления Karcher Compact	85,6	
4	Уборка преддоильной площадки	3 раза в сутки	Шланг. Аппарат высокого давления Karcher Professional	264	
	Уборка зоны входа-выхода на доильную установку				

Результаты и обсуждение. За время проведения мониторинга среднесуточный расход воды в доильном зале составил 33,5 м³ (таблица 2). Основное количество воды (45,8%) расходуется на очистку вымени животных и поддержание чистоты в доильном зале во время и после доения, 29,3% – на уборку преддоильной площадки и зоны входа-выхода животных на доильную установку, 23,4% – на уборку санитарной зоны и обработку копыт, 1,5% – на уборку зоны технического обслуживания (внутреннего круга) доильной установки.

Таблица 2 – Среднесуточный расход воды

Table 2 – Daily water consumption

Значение за период	В точках подключения расходомеров				Общий
	1	2	3	4	
Среднее ± станд. откл., м ³ /сут.	15,359 ± 2,547	7,818 ± 1,282	0,493 ± 0,293	9,799 ± 2,335	33,469 ± 3,208
Максимальное, м ³ /сут.	17,193	9,423	1,087	17,049	39,020
Минимальное, м ³ /сут.	8,712	4,672	0,061	6,955	26,791
Удельное на голову, м ³ /(гол.·сут.)	0,0128	0,0065	0,004	0,0082	0,0278

Средний расход рабочего раствора при обработке сосков вымени коров скруббером около 150 мл на одну корову³, тогда для поголовья 1200 коров среднесуточный расход воды на очистку вымени составит около 0,54 м³. С учетом исключения этого значения расход воды на уборку доильного зала в зонах работы операторов и технологических проходов, включая мытье доильной платформы после доения (точка подключения 1), составит 14,819 м³.

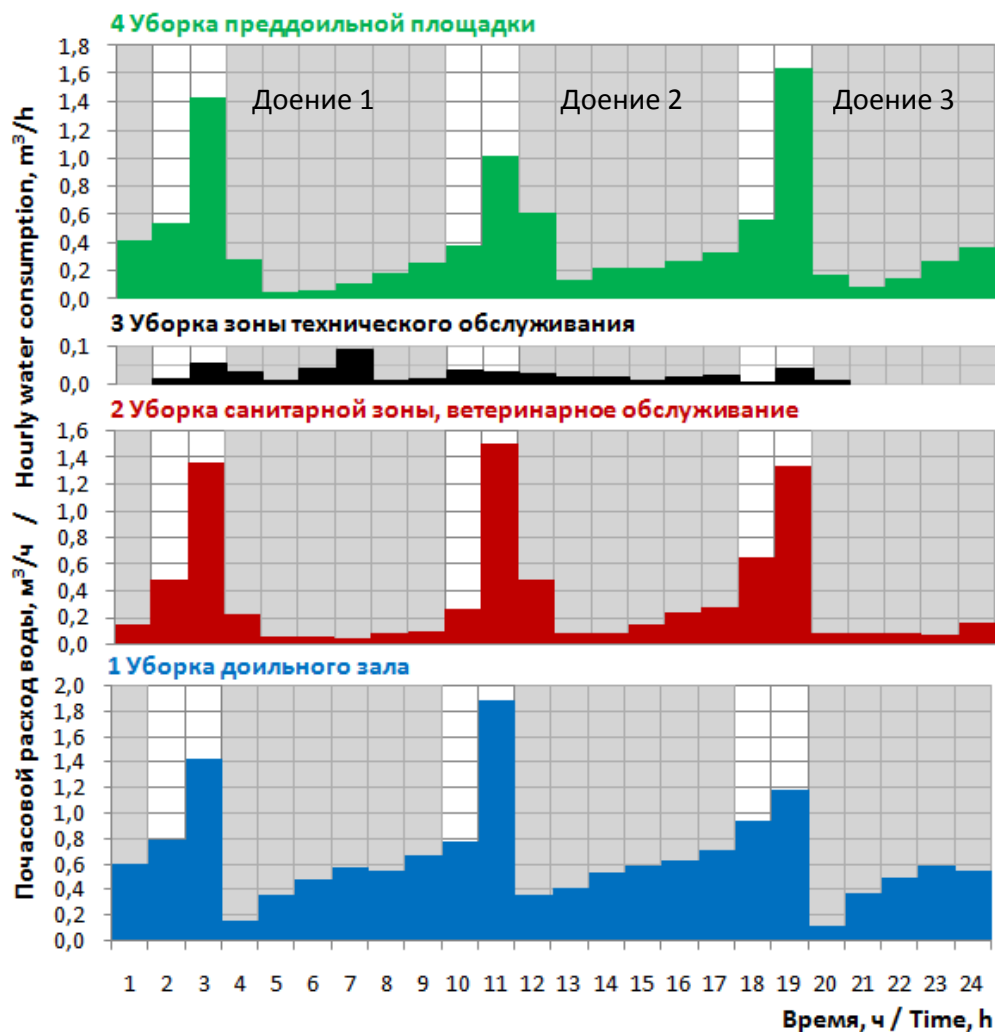


Рисунок 3 – Циклограмма расхода воды по часам суток
Figure 3 – Cyclogram of water consumption per hour of the day

В течение суток вода в доильном зале используется неравномерно (рисунок 3) и зависит от выполняемых работ. Максимальное водопотребление на преддоильной площадке и в доильном зале наблюдается по окончании каждого доения, когда происходит уборка: в 11 часов – 13,2% от суточного расхода воды, в 19 часов – 12,5% и 3 часа – 12,7%. Расход воды за время каждого доения достаточно аналогичен, увеличиваясь к его окончанию в среднем в 2,7 раза, и за 5-6 часов составляет около 5 м³.

³ Назарова К.П., Вдовина Н.И., Березкина Г.Ю. Влияние технологии подготовки коров к доению на молочную продуктивность и качество молока. Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 20–22 апреля 2021 года. Т. 2. Ч. 2. Красноярск: Красноярский ГАУ. 2021. С. 69-72.

Из циклограммы почасового расхода воды (рисунок 3) видно, что практически во всех операциях наибольший расход воды наблюдается в перерывах между доениями за исключением обмывания платформы и копыт, которые проходят во время доения. Операторы во время доения также используют воду для поддержания чистоты в зоне обслуживания животных. Мытьё пола, стен и ограждений доильного зала, преддоильной площадки и санитарной зоны стараются проводить в перерывах между доениями, чтобы не пугать животных, поэтому по окончании доения наблюдается резкое увеличение расхода воды по этим операциям.

Исходя из полученных нами данных среднее количество воды, затрачиваемое на корову за сутки, составляет 27,9 л, т.е. 9,3 л на голову за разовое доение. Эти значения почти на 40 % превышают действующие нормативные значения⁴, что указывает на необходимость более глубокого изучения причин несоответствия.

Результаты, представленные другими исследователями, и, например, проанализированными в [21] сильно варьируются. Отсутствие подробной информации о методах, используемых для измерения и оценки количества воды, расходуемой на уборку доильного зала, в некоторых случаях делает эти данные трудно-сопоставимыми. Результаты, полученные нами, наиболее близки к расходу воды для мытья доильного зала с использованием шлангов при трёхкратном доении, где объём воды составил 27,3 л/(гол.·сут.)⁵ и 22,9 л/(гол.·сут.) [15]. При пересчете расхода воды на разовое доение результаты наших исследований меньше значений, полученных исследователями [17, 18], что может быть связано с использованием доильной установки другого типа и большим поголовьем дойного стада. При двухразовом доении расход воды на очистку вымени животных и доильного зала «Параллель» 2×12 в сутки составил в среднем 27,6 л/(гол.·сут.) [17], а для уборки помещения в доильном зале «Ёлочка» 2×7 – 21,7 л/(гол.·сут.) [18], что при пересчете на разовое доение больше на 48.3% и 16.6% соответственно полученного нами значения.

Среднесуточный расход воды на единицу площади при мытье пола и ограждений на разных участках составляет от 5,6 до 49,3 л/(м²·сут.) в зависимости от зоны мытья и степени её загрязнения. Наибольший расход – 49,3 л/(м²·сут.), зафиксирован при уборке доильной установки и зоны вокруг нее (включая мытье доильной платформы с ограждениями и технологические проходы после доения); 37,1 л/(м²·сут.) – при уборке преддоильной площадки и зоны входа-выхода животного; наименьший – 5,6 л/(м²·сут.) – при уборке зоны технического обслуживания, где уровень загрязнений значительно ниже.

Некоторые компании-производители доильного оборудования при расчёте планового потребления воды на смыв пола в доильном зале принимают 5 л/м² – в зоне, где работает человек, и 10 л/м² в местах, где стоят животные. Расход воды на смыв в санитарной зоне предусматривается 1 раз в сутки и составляет 10 л/м². В проводимых нами исследованиях расход воды в зоне, где находятся животные (преддоильная площадка и зона входа-выхода животных), превышает эти значения на 23,6%, а для мытья доильной установки и зоны вокруг нее в 3,2 раза, санитарной зоны (за исключением расхода воды на наполнение ванн для обработки копыт) более чем в 2,4 раза.

Заключение. Проведенные исследования показали, что среднесуточный расход воды в доильном зале с установкой типа «Карусель» на 50 мест составил 33,5 м³. Основное количество воды (45,8%) расходуется на очистку вымени животных и поддержание чистоты в до-

⁴ Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. РД-АПК 1.10.15.02-17*. – М. ФГБНУ «Росинформагротех». – 2021. – 172 с.

⁵ Manure Management: Dairy. [Электронный ресурс]. – URL: https://ebrary.net/207585/environment/manure_management_dairy#1449464 (дата обращения 12.07.2023).

ильном зале во время и после доения, 29,3% – на уборку преддоильной площадки и зоны входа-выхода животных на доильную установку, 23,4% – на уборку санитарной зоны и обработку копыт, 1,5% – на уборку зоны технического обслуживания (внутреннего круга) доильной установки. Расход воды на единицу площади составил 49,3 л/(м²·сут.) – при уборке доильной установки и зоны вокруг нее (включая мытье доильной платформы с ограждениями и технологические проходы после доения); 37,1 л/(м²·сут.) – при уборке преддоильной площадки и зоны входа-выхода животного; 5,6 л/(м²·сут.) – при уборке зоны технического обслуживания, где уровень загрязнений значительно ниже. Полученные данные могут быть использованы на стадии проектирования для планирования расхода воды, с учётом мытья конкретных зон доильного зала, и определении требуемых объемов навозохранилищ, а также при расчётах количества получаемого навоза и его фракций после сепарации.

Conclusions. The conducted studies have shown that the average daily water consumption in the milking parlor with a Carousel-type installation for 50 seats was 33.5 м³. The main amount of water (45.8%) is spent on cleaning the udders of animals and maintaining cleanliness in the milking parlor during and after milking, 29.3% – on cleaning the pre-milking area and the area of entry and exit of animals to the milking unit, 23.4% – on cleaning the sanitary zone and hoof treatment, 1.5% – on cleaning the maintenance area (inner circle) of the milking machine. Water consumption per unit area was 49.3 l/ (m²·day) – when cleaning the milking unit and the area around it (including washing the milking platform with fences and technological passages after milking); 37.1 l/ (m²·day) – when cleaning the holding area and the entrance-exit zone of the animal; 5.6 l/ (m²·day) – when cleaning the maintenance area, where the level of contamination is much lower. The data obtained can be used at the design stage to plan water consumption, taking into account the washing of specific areas of the milking parlor, and determining the required volumes of manure storage facilities, as well as when calculating the amount of manure and its fractions after separation.

Библиографический список

1. Chiumenti A., da Borso F., Chiumenti R., Kic P. Applying a Mathematical Model to Compare, Choose, and Optimize the Management and Economics of Milking Parlors in Dairy Farms. Agriculture. 2020. Vol. 10. Pp. 1-9.
2. Ivanyos D., Monostori A., Németh C., Fodor I., Ózsvári L. Associations between milking technology, herd size, and milk production parameters. Mljekarstvo / Dairy. 2020. Vol. 70. Pp. 103-111.
3. Dağtekin M., Kic P., Demirel B., Gürdil G. Analyses of Operational and Economic Conditions in Selected Dairy Farms. Black Sea Journal of Agriculture. 2023. № 6 (1). Pp. 32-41.
4. Leso L., Pellegrini P., Barbari M. Effect of two housing systems on performance and longevity of dairy cows in Northern Italy. AgronRes. 2019. Vol. 17 (2). Pp. 574-581.
5. Цой Ю. А., Зеленцов А. И., Баишева Р. А., Танифа В. В., Алексеев А. А. Сравнительная оценка и обоснование технологической планировки коровников по критерию комфортности для содержания животных. Техника и технологии в животноводстве. 2017. № 2 (26). С. 103-107.
6. Груссманн Л. Основные пути и методы работы с голштинской породой крупного рогатого скота. Практические рекомендации по оптимизации кормления, обеспечению правильного обмена веществ, созданию комфорта для высокопродуктивных пород крупного рогатого скота. Самара, 2015. С. 10-16.
7. Silva A. C., Laven R., Benites N. R. Risk factors associated with mastitis in smallholder dairy farms in Southeast Brazil. Animals. 2021. № 11 (7). P. 2089.
8. Mangalis M., Priekulis J., Mangale M. Possibilities to improve rotary parlour milking equipment efficiency. Proceeding in 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Jelgava, 2019. Pp. 39-43.
9. Суровцев В. Н., Никулина Ю. Н., Гордеев В. В., Хазанов В. Е. Эффективность технологической модернизации молочного скотоводства. Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 4. С. 5-10.
10. Шульгин И. К., Лужняк В. Д., Суровцев В. Н., Хазанов В. Е., Гордеев В. В. Цифровая трансформация производственных процессов в молочном скотоводстве ленинградской области. Молочное и мясное скотоводство. 2022. № 4. С. 3-8.

11. Миронова Т. Ю., Гордеев В. В. Экономические аспекты применения системы внутрипочвенного внесения навозосодержащих стоков доильных залов в теплице. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 3 (100). С. 161-170.
12. Гордеев В. В., Хазанов В. Е., Собоная С. В. Методика расчета технологических площадей доильных залов с установкой типа «Карусель». Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 2 (99). С. 277-286.
13. Гордеев В. В., Хазанов В. Е., Собоная С. В. Методика расчета технологических площадей доильных залов с установками типа «Ёлочка» и «Параллель». Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 96. С. 186-193.
14. Федоренко В. Ф., Кирсанов В. В., Мишуров Н. П. Анализ различных вариантов применения доильных роботов в молочном животноводстве. Техника и оборудование для села. 2021. № 7 (289). С. 33-37.
15. Riche E. L., Vander Zaag A. C., Burt S., Lapen D. R., Gordon R. Etienne. Water Use and Conservation on a Free-Stall Dairy Farm. Water. 2017. № 9. P. 977.
16. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., Gordon R. Blue and Grey Water Footprints of Dairy Farms in Kuwait. Journal of Water Resource and Protection. 2020. Vol. 12. Pp. 618-635.
17. Hodúr C., Nagypal V., Fazekas Á., Mikó E. Blue and gray water footprint of some Hungarian milking parlors. Water Practice and Technology. 2022. Vol. 17. № 7. P. 1378.
18. Krauß M., Drastig K., Prochnow A., Rose-Meierhöfer S., Kraatz S. Drinking and Cleaning Water Use in a Dairy Cow Barn. Water. 2016. Vol. 8 (7). P. 302.
19. Robinson A. D., Gordon R. J., Vanderzaag A. C., Rennie T. J., Osborne V. R. Usage and attitudes of water conservation on Ontario dairy farms. The Professional Animal Scientist. 2016. Vol. 32. Pp. 236-242.
20. Гордеев В. В., Миронова Т. Ю., Миронов В. Н. Методика определения количества навозосодержащих стоков доильных залов. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 97. С. 241-250.
21. Ковалев С. В., Гордеев В. В., Миронова Т. Ю. Анализ водопользования на фермах КРС. АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2 (115). С. 108-123.

References

1. Chiumenti A., da Borso F., Chiumenti R., Kic P. Applying a Mathematical Model to Compare, Choose, and Optimize the Management and Economics of Milking Parlors in Dairy Farms. Agriculture. 2020. Vol. 10. Pp. 1-9.
2. Ivanyos D., Monostori A., Németh C., Fodor I., Ózsvári L. Associations between milking technology, herd size, and milk production parameters. Mljekarstvo / Dairy. 2020. Vol. 70. Pp. 103-111.
3. Dağtekin M., Kic P., Demirel B., Gürdil G. Analyses of Operational and Economic Conditions in Selected Dairy Farms. Black Sea Journal of Agriculture. 2023. № 6 (1). Pp. 32-41.
4. Leso L., Pellegrini P., Barbari M. Effect of two housing systems on performance and longevity of dairy cows in Northern Italy. AgronRes. 2019. Vol. 17 (2). Pp. 574-581.
5. Tsoi Yu. A., Zelentsov A. I., Baisheva R. A., Tanifa V. V., Alekseev A. A. Comparative assessment and justification of the technological layout of cowsheds according to the criterion of comfort for keeping animals. Technology and technology in animal husbandry. 2017. № 2 (26). Pp. 103-107.
6. Grussmann L. Main ways and methods of working with Holstein cattle breed. Practical recommendations for optimizing feeding, ensuring proper metabolism, creating comfort for highly productive cattle breeds. Samara, 2015. Pp. 10-16.
7. Silva A. C., Laven R., Benites N. R. Risk factors associated with mastitis in smallholder dairy farms in Southeast Brazil. Animals. 2021. № 11 (7). P. 2089.
8. Mangalis M., Priekulis J., Mangale M. Possibilities to improve rotary parlour milking equipment efficiency. Proceeding in 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Jelgava, 2019. Pp. 39-43.

9. Surovtsev V. N., Nikulina Yu. N., Gordeev V. V., Khazanov V. E. Efficiency of technological modernization of dairy cattle breeding. Dairy and meat cattle breeding. 2017. № 4. Pp. 5-10.
10. Shulgin I. K., Luzhnyak V. D., Surovtsev V. N., Khazanov V. E., Gordeev V. V. Digital transformation of production processes in dairy cattle breeding in the Leningrad region. Dairy and meat cattle breeding. 2022. № 4. Pp. 3-8.
11. Mironova T. Yu., Gordeev V. V. Economic aspects of the use of a system for the internal introduction of manure-containing effluents of milking halls in a greenhouse. Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry. 2019. № 3 (100). Pp. 161-170.
12. Gordeev V. V., Khazanov V. E., Sobovaya S. V. Methodology for calculating the technological areas of milking rooms with a Karusel type installation. Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry. 2019. № 2 (99). Pp. 277-286.
13. Gordeev V. V., Khazanov V. E., Sobovaya S. V. Methodology for calculating the technological areas of milking rooms with installations of the Yolochka and Parallel types. Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry. 2018. № 96. Pp. 186-193.
14. Fedorenko V. F., Kirsanov V. V., Mishurov N. P. Analysis of various options for the use of milking robots in dairy farming. Machinery and equipment for the village. 2021. № 7 (289). Pp. 33-37.
15. Riche E. L., Vander Zaag A. C., Burt S., Lapen D. R., Gordon R. Etienne. Water Use and Conservation on a Free-Stall Dairy Farm. Water. 2017. № 9. P. 977.
16. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., Gordon R. Blue and Grey Water Footprints of Dairy Farms in Kuwait. Journal of Water Resource and Protection. 2020. Vol. 12. Pp. 618-635.
17. Hodúr C., Nagypal V., Fazekas Á., Mikó E. Blue and gray water footprint of some Hungarian milking parlors. Water Practice and Technology. 2022. Vol. 17. № 7. P. 1378.
18. Krauß M., Drastig K., Prochnow A., Rose-Meierhöfer S., Kraatz S. Drinking and Cleaning Water Use in a Dairy Cow Barn. Water. 2016. Vol. 8 (7). P. 302.
19. Robinson A. D., Gordon R. J., Vanderzaag A. C., Rennie T. J., Osborne V. R. Usage and attitudes of water conservation on Ontario dairy farms. The Professional Animal Scientist. 2016. Vol. 32. Pp. 236-242.
20. Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Mironov V. N. Methodology for determining the amount of manure-containing effluents of milking rooms. Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry. 2018. № 97. Pp. 241-250.
21. Kovalev S. V., Gordeev V. V., Mironova T. Yu. Analysis of water use on cattle farms. AgroEcoEngineering. 2023. № 2 (115). Pp. 108-123.

Информация об авторах

Миронова Татьяна Юрьевна, научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, кандидат технических наук, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, Тярлево, Филътровское шоссе, д. 3), e-mail: mironova-tat@mail.ru

Гордеев Владислав Владимирович, ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, кандидат технических наук, доцент, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, Тярлево, Филътровское шоссе, д. 3).

Ковалёв Сергей Владимирович, младший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, аспирант, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, Тярлево, Филътровское шоссе, д. 3).

Гордеева Татьяна Ивановна, старший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, кандидат технических наук, доцент, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, Тярлево, Филътровское шоссе, д. 3).

Author's Information

Mironova Tatiana Yurievna, research associate of the Department of Agroecology in Livestock Production, candidate of engineering science, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoye Sh., 3), e-mail: mironova-tat@mail.ru

Gordeev Vladislav Vladimirovich, leading researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, candidate of engineering science, Assistant Professor. Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Sh., 3).

Kovalev Sergey Vladimirovich, junior researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, graduate student, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Sh., 3).

Gordeeva Tatiana Ivanovna, senior researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, candidate of engineering science, Assistant Professor, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Sh., 3).

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-54

CONCEPTUAL MODEL OF METHODOLOGY FOR PREDICTIVE MAINTENANCE OF AGRICULTURAL MACHINERY

V. M. Pomogaev

*Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin
Omsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Received 30.10.2023

Submitted 21.11.2023

Summary

The article presents the results of a study of the stages of development of maintenance and repair strategies and their promising forms, taking into account the development of digital technologies. Predictive MRO methodology seems to be an intermediate form on the path to the establishment of predictive and prescriptive MRO strategies. The goal of the methodology is to minimize operating costs and increase machine reliability. A six-level conceptual model for implementing predictive maintenance and repair methodology is proposed.

Abstract

Introduction. Technical services, and in particular the maintenance and repair of agricultural machinery, ensure the reliability of one of the key business assets – agricultural machinery. The use of digital technologies in this area allows the use of advanced strategies based on big data processing and predictive analytics. Predictive maintenance of machines, taking into account trends in technical re-equipment and the specifics of agricultural production, can become a key methodology for maintenance and repair. The proposed conceptual model of predictive maintenance for agricultural machinery allows us to identify practical steps for the development and implementation of this methodology. **Object.** Maintenance and repair system. **Materials and methods.** The work used methods of system analysis and modeling, theories: management; decision making; operations research; design of large software and information systems; content – literature analysis. The study and design of the concept is based on the scientific works of domestic and foreign scientists, GOSTs, as well as reliability and quality methodologies RCM, Kaizen, TQC, etc. **Results and conclusions.** As a result of the study, it was found that the implementation of the software methodology leads to a reduction in machine downtime, an increase in their reliability, and a reduction in operating costs. Analysis of scientific research allows us to identify three tasks, the solution of which precedes the implementation of software: determining the system architecture; determining goals and objectives based on the owners' strategy; identifying approaches and techniques to achieve the best MRO results. A conceptual software model is proposed, which includes 6 layers and a set of actions, allowing for the detection and identification of previous and incipient faults of machine components and assemblies, monitoring and forecasting the development of degradation of parts and technical condition as a whole, as well as providing decision support in the MRO process or development automation maintenance schedules.

Key words: *predictive maintenance of agricultural machines, big data processing, IoT technologies, agricultural machines, digital technologies.*

Citation. Pomogaev V. M. Conceptual model of methodology for predictive maintenance of agricultural machinery. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 538-547 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-54.

Author's contribution. All authors 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 631.173:004.048

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДОЛОГИИ ПРОГНОЗНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В. М. Помогаев, кандидат экономических наук, доцент

*Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина
г. Омск, Российская Федерация*

Актуальность. Технический сервис, и в частности техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственных машин, обеспечивают надежность одного из ключевых активов бизнеса – сельскохозяйственных машин. Применение в этой сфере цифровых технологий позволяет использовать передовые стратегии, основанные на обработке больших данных и предиктивной аналитике. Прогнозное обслуживание машин, с учетом тенденций технического перевооружения и специфики сельскохозяйственного производства, может стать ключевой методологией технического обслуживания и ремонта. Предложенная концептуальная модель прогнозного обслуживания (ПО) для сельскохозяйственных машин позволяет определить практические шаги для развития и внедрения этой методологии. **Объект.** Объектом исследования является система технического обслуживания и ремонта в сельском хозяйстве. **Материалы и методы.** В работе использованы методы системного анализа и моделирования, теорий: управления; принятия решений; исследования операций; проектирования больших программно-информационных систем; контент – анализа литературы. В основу изучения и проектирования концепции положены научные труды отечественных и зарубежных ученых, ГОСТы, а также методологии надежности и качества RCM, Кайдзен, TQC и др. **Результаты и выводы.** В результате исследования было установлено, что реализация методологии ПО приводит к сокращению времени простоя машин, повышению их надежности, снижению эксплуатационных расходов. Анализ научных исследований позволяет выделить три задачи, решение которых предшествует внедрению ПО: определение архитектуры системы; определение целей и задач исходя из стратегии собственников; определение подходов и методик для достижения наилучшего результата ТОиР. Предложена концептуальная модель ПО, включающая 6 слоев и набор действий, позволяющий осуществлять обнаружение и идентификацию предшествующих и зарождающихся неисправностей узлов и агрегатов машин, мониторинг и прогнозирование развития деградации деталей и технического состояния в целом, а также обеспечение поддержки принятия решений в процессе ТОиР или автоматизацию разработки графиков ТО.

Ключевые слова: прогнозное обслуживание сельскохозяйственных машин, обработка больших данных, технологии интернета вещей, сельскохозяйственные машины, цифровые технологии.

Цитирование. Помогаев В. М. Концептуальная модель методологии прогнозного обслуживания сельскохозяйственных машин. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 538-547. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-54.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данной статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последние годы все чаще говорят о формировании концепции развития сельского хозяйства – «Сельское хозяйство 4,0» [1], где базовыми технологиями являются обработка больших данных, технологии интернета вещей (IoT-устройства, сенсоры) и т.д. Все больше начинает производиться сельскохозяйственных машин, оснащенных сложными электронными системами и системами бортовой диагностики.

Использование в сельхозмашиностроении и в сельском хозяйстве сенсоров, датчиков и IoT-устройств позволяет собирать огромное количество данных, что само по себе открывает большие возможности в их использовании для анализа и прогнозирования [2]. Благодаря таким технологиям было сформировано множество различных подходов к организации и управлению ТОиР – проактивная стратегия, прогнозное обслуживание и т.д. [3, 4, 5]. Есть определенные исследования на эту тему в сельском хозяйстве [6, 7, 8], однако они пока недостаточно систематизированы, а глубина их не позволяет сформулировать практические подходы и рекомендации для организации ТОиР в сельскохозяйственных предприятиях. К тому же особенности отрасли наложили отпечаток на темпы внедрения и использования цифровых технологий. Во-первых, это влияние природных факторов в реальных условиях эксплуатации, что существенно затрудняет построение моделей отказов и прогнозов технического состояния (непредсказуемое внешнее воздействие, ускоряющее износ и пр.). Во-вторых, это сезонный интенсивный характер загрузки машин, когда техника длительный период находится на полях, а выездная диагностика не может обеспечить необходимый уровень технического контроля.

Таким образом, важной научно-практической задачей является определение путей развития системы ТОиР в условиях активного внедрения цифровых технологий, а также способов обеспечения надежности и работоспособности сельскохозяйственных машин с оптимальными издержками. Цель исследования: разработка концептуальной модели реализации методологии прогнозного обслуживания сельскохозяйственных машин.

Материалы и методы. В соответствии с ГОСТР 27.601-2011 понятие стратегии ТО определяется, как «общий подход к обеспечению ТО и его поддержке исходя из целей и стратегии владельцев, пользователей и заказчиков. Она влияет на решения, принятые по мероприятиям ТО и ресурсам, выделяемым в течение всего жизненного цикла изделия». Можно сказать, что стратегия ТОиР включает совокупность методов управления, направленных на обеспечение надежности машин оптимальными средствами. Исследование позволило выявить этапы развития стратегий ТОиР и предложить их перспективные формы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Эволюция стратегий ТОиР
Figure 1 – Evolution of MRO strategies

Переход от реактивной стратегии (РС) к планово-предупредительной стратегии (ППР) был по своему революционным. Однако даже на сегодняшний день РС остается значимой стратегией в сельскохозяйственных предприятиях не только России. Доминирующей стратегией является ППР. Во многом это связано с политикой производителей машин, которые стремятся обеспечить управление жизненным циклом машин на этапе эксплуатации жесткими регламентами обслуживания (зачастую с принудительной блокировкой машин), что приводит к существенному росту стоимости обслуживания.

Стремление найти баланс между обеспечением надежности машин и стоимостью ТОиР стимулирует развитие отдельных методологий ТОиР и применение практик из других сфер экономики (надежностно-ориентированное техническое обслуживание (RCM), Кайдзен, TQC (Total quality control) и др.).

Использование технологий интернета вещей, больших данных, предсказательной аналитики позволили сформироваться еще одной методологии ТОиР – прогнозное обслуживание. В зарубежной литературе оно чаще обозначается как системы предиктивного технического обслуживания (PdM) или проактивная стратегия (PrCO) [9, 10, 11]. Построение прогнозов на основе исторических данных или на основе данных сенсоров в процессе эксплуатации (более продвинутый метод) позволили повысить уровень эксплуатации отдельных деталей и узлов. Для подвижного железнодорожного состава, например, объем операций ТОиР, определяемый на основе предсказательных моделей, уже достигает порядка 60% [12]. На основе прогнозных моделей определяют срок службы узлов и агрегатов, периодичность диагностики, профилактики и ремонта.

В целом суть методологии ПО заключается в обеспечении управления надежностью машин на этапе ЖЦ (эксплуатация) с целью предупреждения отказов при максимальной наработке и обеспечения качества эксплуатации на предельных параметрах на основе информационных, интеллектуальных и цифровых технологий.

Выделение прогнозного обслуживания в самостоятельную стратегию (наравне с ППР или РС, в сельском хозяйстве возможно при высоком уровне автоматизации контроля эксплуатационных параметров и планирования ТОиР, когда фактически машина самостоятельно «заказывает» то или иные обслуживающие, ремонтное воздействие в условиях непрерывного контроля и мониторинга технического состояния).

Можно выделить ряд барьеров на пути реализации предсказательной стратегии ТОиР в сельском хозяйстве:

1. Недостаточный уровень оснащения сельскохозяйственных машин устройствами контроля технического состояния, отсутствие единых стандартов бортовой связи.
2. Ограниченность зоны покрытия связью в сельской местности (важно для развития архитектуры).
3. Низкий уровень использования информационных систем в сельском хозяйстве (системы EAM, ERP и т.д.), позволяющих документировать и хранить данные о сельскохозяйственных машинах (СМ).
4. Сельскохозяйственные машины – это сложный технологический комплекс, эксплуатирующийся в неблагоприятной среде. Соответственно, при прогнозировании необходимо учитывать множество слабоструктурированных параметров.
5. Кадровый состав эксплуатирующих служб и служб ТОиР мало подготовлен к использованию цифровых технологий.
6. Рынок ИТ-услуг для сельского хозяйства не сформировался в полной мере, недостаточно качественных и недорогих ИТ-решений.
7. Ремонтно-техническая база в сельскохозяйственных предприятиях, как правило, слабо подготовлена для обслуживания сложной техники. В гарантийный период СМ обслуживаются у дилера (информация о состоянии машины хранится у них). В после гарантий-

ный период работы выполняются за частую самостоятельно либо на сторонних сервисах (информация о состоянии машины храниться у них, либо не собирается). В этих условиях оцифровать данные о состоянии машин либо невозможно, либо крайне затруднительно.

8. Реализация цифровых решений и модернизация МТБ является дорогостоящим инвестиционным проектом, что отталкивает многих собственником, особенно владельцев небольших предприятий и фермерских хозяйств.

Однако с каждым годом ситуация меняется. Объем данных, генерируемых электронными устройствами и датчиками самоходных сельскохозяйственных машин (которые зачастую уже установлены штатно), становится все больше. Это, как показывает опыт других отраслей, открывает новые возможности в повышении уровня интеллектуальности ТООР. Кроме того, растёт зона покрытия связью, адаптируются к сельскому хозяйству ИТ-решения из других отраслей.

Представляется обоснованным на переходном этапе сформировать условия для обеспечения сбора информации из всех источников на цифровой платформе, аффилированной с владельцем машин. Так, в работе [13], например, предлагается для обеспечения условий развития и расширения прогностических стратегий в сельском хозяйстве собирать ИТ-артефакты на единой платформе, поскольку данных с датчиков сейчас для построения достоверных прогнозных моделей недостаточно.

Результаты исследования. Методология ПО развивается уже много лет, но только недавно цифровые технологии стали казаться достаточно эффективными и недорогими, чтобы сделать ПО широкодоступным. ПО обычно включает в себя мониторинг состояния, диагностику неисправностей, прогнозирование неисправностей и ТООР.

У используемых интеллектуальных технологий есть потенциал для обнаружения и идентификации предшествующих и зарождающихся неисправностей узлов и агрегатов машин, мониторинга и прогнозирования развития деградации узлов и агрегатов, а также обеспечения поддержки принятия решений в процессе ТООР и автоматизации разработки графиков ТО. Ниже представлен перечень технологий, лежащих в основе развития ПО.

1) IoT для сбора данных. IoT инфраструктура позволяет собирать непрерывно увеличивающийся объем данных с множества датчиков, установленных на машинах.

2) Анализ больших данных. Методы анализа и обработки больших данных произвели революцию в интеллектуальном обслуживании, превратив большие машинные данные в полезную информацию (очистка, преобразование, извлечение и объединение признаков и т.д.). ПО позволяет снизить частоту обслуживания настолько, насколько это возможно, чтобы предотвратить незапланированные ремонты, с одной стороны, и выполнения слишком большого количества плановых работ, с другой.

3) Методы глубокого обучения (DL) и глубокое обучение с подкреплением (DRL). В последние годы разрабатывается и совершенствуется огромное количество подходов DL для диагностики неисправностей и прогнозирования. Большее количество слоев и нейронов в сети DL позволяет обеспечивать точную диагностику неисправностей и прогнозирование (например, прогнозирование остаточного срока полезного использования). Прорыв в DRL и его вариантах обеспечивает эффективное управление сложными техническими системами.

4) Высокопроизводительное аппаратное обеспечение. Мощное аппаратное обеспечение, может значительно ускорить процесс эволюции технологий и их внедрение при реализации ПО и ПрСО.

Очевидно, что реализация ПО приводит к сокращению времени простоя машин, повышению их надежности, снижению эксплуатационных расходов. При реализации методологии ПО возникает новый класс задач. Анализ ряда исследований позволяет выделить три задачи, решение которых предшествует внедрению ПО (рисунок 2) [14].

Широкое обсуждение в литературе получила архитектуры систем ПО. С развитием технологий индустрии 4.0 на практике реализовались цифровые методы измерения, дистанционная передача данных, облачные вычисления и т.д. Разрабатываемая архитектура системы ПО должна быть совместима с различными стандартами и протоколами, легко интегрироваться с новыми технологиями, удовлетворять ключевым требованиям ПО (сбор данных, диагностика неисправностей и прогнозирование и т. д.).

Цели ПО конституированы в балансе двух категорий – стоимость и надежность. Вместе с тем широко обсуждаются модели баланса этих целей, оптимизация их в условиях конкретных технических систем. Кроме того, специфика ПО различна в разных отраслях для различного класса технических систем, а следовательно, и подходы к диагностике неисправностей и прогнозированию должны разрабатываться и адаптироваться к конкретным проблемам. Это, в свою очередь, порождает требования к архитектуре ПО, которая тоже должна иметь свои показатели эффективности и экономичности.



Рисунок 2 – Таксономия научных исследований по теме прогнозного обслуживания и схема концептуализация предметной области

Figure 2 – Taxonomy of scientific research on the topic of predictive maintenance and conceptualization scheme of the subject area

Наиболее динамичной областью исследований являются подходы к диагностике и прогнозированию отказов. Существующие подходы широко варьируются в зависимости от используемых алгоритмов, таких как алгоритмы на основе искусственных нейронных сетей (ANN), метод опорных векторов (SVM), автоматический кодировщик и сверточная нейронная сеть (CNN) и др. Наиболее широко используются подходы и методы, сосредоточенные на следующих направлениях:

- Модели классификации для выявления ранних стадиях деградации.

– Обнаружение паттернов. Этот тип подходов позволяет выявлять аномальное поведение, несмотря на отсутствие каких-либо предварительных сведений об ошибках, отсутствие статистических данных, физических моделей износа и пр.

– Регрессионные модели для прогнозирования остаточного ресурса (RUL). Подход направлен на прогнозирование RUL в соответствии с процессом деградации, который учится на исторических данных.

В итоге концептуальная модель прогнозного обслуживания для сельскохозяйственных машин может иметь следующий вид (рисунок 3).

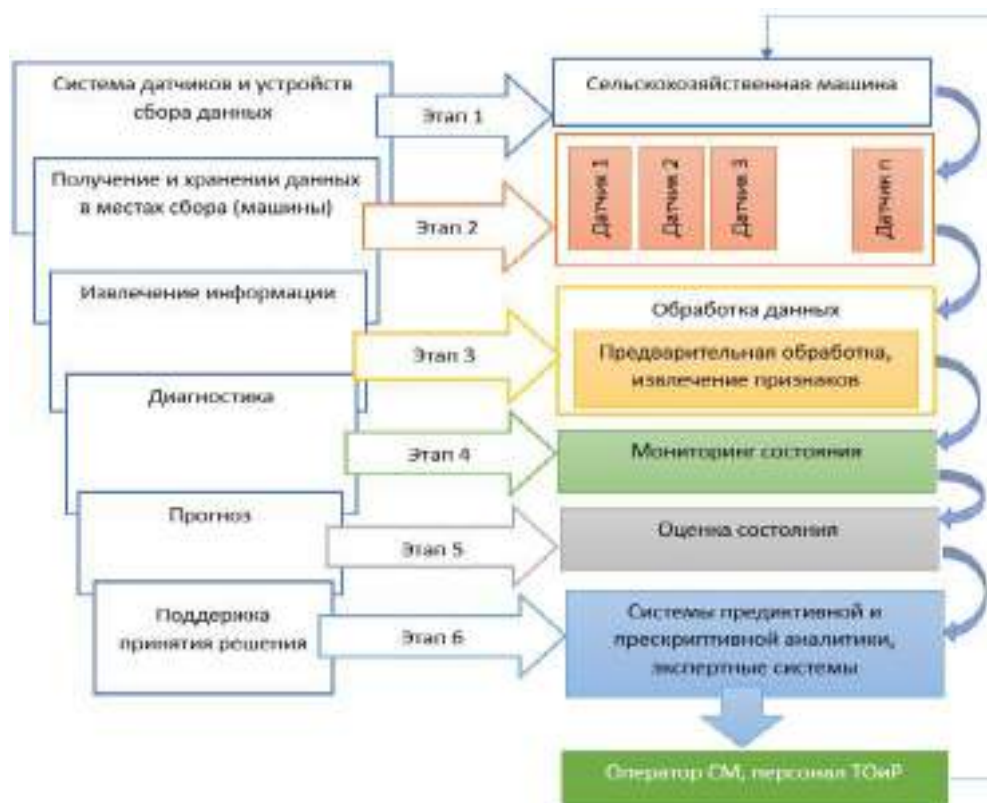


Рисунок 3 – Концептуальная модель прогнозного обслуживания для сельскохозяйственных машин

Figure 3 – Conceptual model of predictive maintenance for agricultural machinery

Этап 1: Датчики, установленные на сельскохозяйственных машинах, передают сигналы напрямую или через преобразователь в модуль обработки сигналов.

Этап 2: Выходные данные модуля обработки сигналов представляют собой данные датчиков, прошедших преобразование через цифровую фильтрацию, частотные спектры, демодуляцию исходного сигнала и т.д. Обработка сигналов осуществляется алгоритмами либо непосредственно на машине, либо в облачном сервисе или на стационарном ПК, в зависимости от архитектуры системы мониторинга.

Этап 3: Процесс мониторинга состояния – непрерывного наблюдения, осуществляется с целью, сравнить полученные данные с установленными значениями. Система мониторинга, в случае отклонения параметров, генерирует оповещения для операторов машин или для специалистов ТОиР о появлении эксплуатационных ограничений.

Этап 4: Диагностика технического состояния СМ или отдельных их элементов осуществляется на основе данных мониторинга технического состояния. Основная цель – оценка работоспособности. Данный модуль оценки работоспособности диагностирует

состояние, осуществляет записи диагностических параметров и указывает на возможные неисправности. Диагноз основывается на тенденциях в истории диагностических параметров, рабочем состоянии, а также истории нагрузки и технического обслуживания.

Этап 5: Прогнозирование технического состояния важнейший этап ПО, который использует данные всех предыдущих этапов. Основная цель прогнозирования – рассчитать будущее состояние работоспособности с учетом текущих внешних и внутренних факторов и оставшийся срок полезного использования (RUL).

Этап 6: Элементы архитектуры поддержки принятия решений получают данные от модулей диагностики и прогнозирования. Основная цель – поддержка принятия управленческих решений и формирование технических рекомендаций. Решения могут относиться как к техническому обслуживанию (формирование графиков, управлением складом запасных частей и т.д.), так и к эксплуатации СМ (например, изменение режимов нагрузки).

Заключение. Использование в сельхозмашиностроении и в сельском хозяйстве сенсоров, датчиков и IoT-устройств позволяет собирать огромное количество данных, что само по себе открывает большие возможности в их использовании для анализа и прогнозирования технического состояния машин. Использование этих технологий привело к развитию в сельском хозяйстве нового подхода к организации ТОиР – прогнозной методологии ТОиР, суть которой заключается в обеспечении управления надежностью машин с целью предупреждения отказов при максимальной наработке и обеспечения качества эксплуатации на предельных параметрах, на основе информационных, интеллектуальных и цифровых технологий.

В результате исследования было установлено, что реализация методологии ПО приводит к сокращению времени простоя машин, повышению их надежности, снижению эксплуатационных расходов. Анализ научных исследований позволяет выделить три задачи, решение которых предшествует внедрению ПО: определение архитектуры системы; определение целей и задач исходя из стратегии собственников; определение подходов и методик для достижения наилучшего результата ТОиР.

Предложена концептуальная модель ПО, включающая 6 слоев и набор действий, позволяющий осуществлять обнаружение и идентификацию предшествующих и зарождающихся неисправностей узлов и агрегатов машин, мониторинг и прогнозирование развития деградации деталей и технического состояния в целом, а также обеспечение поддержки принятия решений в процессе ТОиР или автоматизацию разработки графиков ТО.

Conclusions. The use of sensors, sensors and IoT devices in agricultural machinery and agriculture makes it possible to collect a huge amount of data, which in itself opens up great opportunities for their use for analyzing and predicting the technical condition of machines. The use of these technologies has led to the development in agriculture of a new approach to organizing maintenance and repair - a predictive methodology for maintenance and repair, the essence of which is to ensure the management of machine reliability in order to prevent failures at maximum operating time and ensure the quality of operation at maximum parameters, based on information, intelligent and digital technologies.

As a result of the study, it was found that the implementation of the software methodology leads to a reduction in machine downtime, an increase in their reliability, and a reduction in operating costs. Analysis of scientific research allows us to identify three tasks, the solution of which precedes the implementation of software: determining the system architecture; determining goals and objectives based on the owners' strategy; identifying approaches and techniques to achieve the best MRO results.

A conceptual software model is proposed, which includes 6 layers and a set of actions, allowing for the detection and identification of previous and incipient faults of machine components and assemblies, monitoring and forecasting the development of degradation of parts and technical condition as a whole, as well as providing decision support in the MRO process or development automation maintenance schedules.

Библиографический список

1. Попова Л. В., Горшкова Н. В., Шалдохина С. Ю. Внедрение технологий сельского хозяйства 4.0: условия и прогнозы. Вестник АГУ. 2019. Выпуск 1 (235). С. 83-89.
2. Помогаев В. М., Редеев Г. В., Ревякин П. И., Басакина А. С. Возможности использования данных электронных систем сельскохозяйственных машин для построения предсказательных моделей. Вестник Омского ГАУ. 2022. № 2 (46). С. 153–166.

3. Гунина И. А., Шкарупета Е. В., Решетов В. В. Прорывное технологическое развитие промышленных комплексов в условиях цифровой трансформации. Инновационные кластеры цифровой экономики: теория и практика. СПб.: СПбПУ, 2018. С. 535–554.

4. Wang J., Zhang L., Duan L., Gao R. X. A new paradigm of cloudbased predictive maintenance for intelligent manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2017. V. 28. No. 5. Pp. 1125–1137.

5. Hai Qiu, Lee J., Djudjanovic D. Advances on prognostics for intelligent maintenance systems. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC Papers-OnLine)*. 2005. V. 16 (1). https://www.researchgate.net/publication/251858917_Advances_on_prognostics_for_intelligent_maintenance_systems.

6. Помогаев В. М. Мониторинг технического состояния сельскохозяйственных машин и качества выполнения технологических операций. *Вестник Омского ГАУ*. 2023. № 2 (50). С. 143–152.

7. Толочко Н. К., Нукешев С. О., Романюк Н. Н., Хлынов В. Н. Прогрессивные технологии технического сервиса в сельском хозяйстве: учебное пособие. Нур-Султан: КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2020. 171 с.

8. Зорин В. А., Степанов П. В., Стыскин М. М., Трегубов П. Г., Баурова Н. И. Система проактивного дистанционного обслуживания наземных транспортно-технологических машин. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 5. С. 25-27.

9. Мартынов Б. Г., Тарабан М. В., Мозиков М. Д. К вопросу управления проактивной системой технического обслуживания в современных условиях. Сборник трудов науч.-тех. конф. института технологических машин и транспорта леса. СПб.: СПбГЛТУ, 2022. С. 303-307.

10. Сай Ван Квонг, Щербаков М. В. Архитектура системы предсказательного технического обслуживания сложных многообъектных систем в концепции Индустрии 4.0. Программные продукты и системы 2020. Т. 33. № 2. С. 186–194.

11. Ферাপонтова М. В., Стародубец А. А., Перчаткин А. С. Проактивное или предотвращающее обслуживание. Сборник материалов науч.-практ. конф. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2020. С. 132-135.

12. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines. *Research Papers*. 2018. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/153.

13. Nguyen K.-A., Do P., Grall A. Multi-level predictive maintenance for multi-component systems. *Reliability engineering & system safety*. 2015. V. 144. Pp. 83–94.

14. Ran Y., Zhou X., Lin P., Wen Y. R. A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2019. № 20. Pp. 1-36. <https://arxiv.org/pdf/1912.07383.pdf>.

References

1. Popova L. V., Gorshkova N. V., Shaldokhina S. Yu. Introduction of agricultural technologies 4.0: conditions and forecasts. *Bulletin of ASU*. 2019. Issue 1 (235). Pp. 83-89.

2. Pomogaev V. M., Redreev G. V., Revyakin P. I., Basakina A. S. Possibilities of using these electronic systems of agricultural machines to build predictive models. *Bulletin of Omsk GAU*. 2022. № 2 (46). Pp. 153-166.

3. Gunina I. A., Shkarupeta E. V., Reshetov V. V. Breakthrough technological development of industrial complexes in a digital transformation. *Innovative clusters of digital economics: theory and practice*. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2018. Pp. 535-554.

4. Wang J., Zhang L., Duan L., Gao R. X. A new paradigm of cloudbased predictive maintenance for intelligent manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2017. V. 28. No. 5. Pp. 1125–1137.

5. Hai Qiu, Lee J., Djudjanovic D. Advances on prognostics for intelligent maintenance systems. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC Papers-OnLine)*. 2005. V. 16 (1). https://www.researchgate.net/publication/251858917_Advances_on_prognostics_for_intelligent_maintenance_systems.

6. Pomogaev V. M. Monitoring the technical condition of agricultural machines and the quality of technological operations. *Bulletin of Omsk GAU*. 2023. № 2 (50). Pp. 143-152.

7. Tolochko N. K., Nukeshev S. O., Romanyuk N. N., Khlynov V. N. Progressive technologies of technical service in agriculture: a textbook. Nur-Sultan: KazATU named after S. Seifullin, 2020. 171 p.
8. Zorin V. A., Stepanov P. V., Styskin M. M., Tregubov P. G., Baurova N. I. System of proactive remote maintenance of ground transport and technological machines. Renovations. Recovery. Modernization. 2021. № 5. Pp. 25-27.
9. Martynov B. G., Taraban M. V., Mozikov M. D. On the issue of managing a proactive maintenance system in modern conditions. Collection of works of scientific-technical conf. Institute of Technological Machinery and Forest Transport. St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University, 2022. Pp. 303-307.
10. Sai Wang Kwong, Shcherbakov M. V. Architecture of predictive maintenance system of complex multi-object systems in Industry 4.0 concept. Software Products and Systems 2020. V. 33. № 2. Pp. 186-194.
11. Ferapontova M. V., Starodubets A. A., Glovetkin A. S. Proactive or preventing maintenance. Collection of scientific-practical materials. conf. Petrozavodsk: ICNP "New Science," 2020. Pp. 132-135.
12. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines. Research Papers. 2018. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/153.
13. Nguyen K.-A., Do P., Grall A. Multi-level predictive maintenance for multi-component systems. Reliability engineering & system safety. 2015. V. 144. Pp. 83–94.
14. Ran Y., Zhou X., Lin P., Wen Y. R. A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. № 20. Pp. 1-36. <https://arxiv.org/pdf/1912.07383.pdf>.

Информация об авторах

Помогаев Виталий Михайлович, кандидат экономических наук, доцент кафедры технического сервиса, механики и электротехники факультета технического сервиса в АПК, ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина» (Российская Федерация, 644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, д. 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Author's Information

Pomogaev Vitaly Mikhailovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Service, Mechanics and Electrical Engineering, Faculty of Engineering Service in the Agro-Industrial Complex, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin (Russian Federation, 644008, Omsk, Institutskaya Square, 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-55

FAULT DETECTION OF CONNECTING JOURNALS AND MAIN JOURNALS OF THE CRANKSHAFT

G. N. Temasova, O. A. Leonov, A. N. Samordin, D. O. Leonov

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: temasova@rgau-msha.ru

Received 17.08.2023

Submitted 10.10.2023

Summary

The article deals with the problems associated with the defectiveness of the connecting rod and main journals of the crankshaft, and also presents a mathematical description of this process, taking into account the control of dimensions, shape and location of surfaces. The studies were carried out at the repair enterprises of the agro-industrial complex. Determining the condition of parts after fault detection is an important step in the repair process. This determines whether parts can be machined to repair size or should be rejected. To more accurately determine the condition of defective parts, a tool was developed for monitoring and analyzing dimensions and shape deviations. This tool allows you to evaluate defects in more detail and determine how critical they are for the further use of the part.

Abstract

Introduction. In the context of import substitution and resource conservation in machine-building production, the control of internal combustion engine parts is becoming increasingly important. If foreign engines cannot be repaired, then domestic engines can be repaired. When repairing engines, important parts that require fault detection are the cylinder block, crankshaft, camshaft, cylinder head, connecting rods and other expensive and heavily loaded parts. The loss or incorrect diagnosis of the condition of one of these parts can significantly increase the cost of a repaired engine. Therefore, fault detection operations should be thorough, competent and require the use of accurate measuring instruments. Metrological support of the repair process is a paramount task to prevent significant risks arising from the control and fault detection of engines. **Object.** The object of research is the operation of defective parts in the repair industry. **Materials and methods.** The studies were carried out at the repair enterprises of the agro-industrial complex during the fault detection of parts. The mathematical description of the defect detection process is carried out in the form of inequalities. **Results and conclusions.** In the process of flaw detection, it is necessary to control not only the dimensions of the parts, but also their shape and surface arrangement. The wear of individual elements of parts occurs faster than others. This is due to the operating conditions. As a result of fault detection of parts, it is possible to determine whether they can be processed to the repair size or should be rejected. A tool for monitoring and analyzing dimensions and shape deviations was developed, which will allow more accurate determination of the condition of the defective part.

Key words: defect detection of parts, defect detection conditions, fault detection planes, defect detection checklist.

Citation. Temasova G. N., Leonov O. A., Samordin A. N., Leonov D. O. Fault detection of connecting journals and main journals of the crankshaft. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 547-555 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-55.

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

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

УДК 658.562.64

ДЕФЕКТАЦИЯ ШАТУННЫХ И КОРЕННЫХ ШЕЕК КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Г. Н. Темасова, кандидат экономических наук, доцент

О. А. Леонов, доктор технических наук, профессор

А. Н. Самордин, соискатель

Д. О. Леонов, магистрант

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. В условиях импортозамещения и экономии ресурсов в машиностроительном производстве контроль деталей двигателей внутреннего сгорания становится все более важным. Если зарубежные двигатели не подлежат ремонту, то отечественные двигатели являются ремонтпригодными. При ремонте двигателей важными деталями, требующими дефектации, являются блок цилиндров, коленчатый вал, распределительный вал, головка блока цилиндров, шатуны и другие дорогостоящие и интенсивно нагруженные детали. Потеря или неправильное определение состояния одной из этих деталей может значительно увеличить стоимость отремонтированного двигателя. Поэтому проведение операций дефектации должно быть тщательным, грамотным и требовать применения точных измерительных инструментов. Метрологическое обеспечение процесса ремонта является первостепенной задачей для предотвращения значительных рисков, возникающих при контроле и дефектации двигателей. **Объект.** Объектом исследований являются операции дефектации деталей в ремонтном производстве. **Материалы и методы.** Исследования проводились на ремонтных предприятиях агропромышленного комплекса при дефектации деталей. Математическое описание процесса дефектации проведено в

виде неравенств. **Результаты и выводы.** В процессе дефектации необходимо контролировать не только размеры деталей, но и их форму, и расположение поверхностей. Износ отдельных элементов деталей происходит быстрее, чем других. Это происходит из-за условий эксплуатации. В результате дефектации деталей можно определить, могут ли они быть обработаны до ремонтного размера или должны быть забракованы. Был разработан инструмент контроля и анализа размеров и отклонений формы, который позволит более точно определить состояние дефектуемой детали.

Ключевые слова: дефектация деталей, условия дефектации, плоскости дефектации, контрольный листок дефектации.

Цитирование. Темасова Г. Н., Леонов О. А., Самордин А. Н., Леонов Д. О. Дефектация шатунных и коренных шеек коленчатого вала. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 547-555. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-55.

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 настоящее время большое внимание уделяется вопросам контроля деталей при их изготовлении на специализированных машиностроительных предприятиях, которые серийно или массово выпускают комплектующие к конвейерной сборке и запасные части, используемые при ремонте машин [1-3]. Для этих целей в СССР был разработан ряд нормативных документов, которые с успехом применяются и сейчас [4, 5].

Самым дорогим и интенсивно нагруженным агрегатом в любой машине является двигатель внутреннего сгорания. В большинстве случаев двигатели зарубежной техники не подлежат восстановлению и ремонту из-за применения тонкостенных гильз, более узких коренных опор и блоков цилиндров из алюминиевых сплавов, такая политика в зарубежном машиностроении нацелена на решение двух основных перспективных вопросов – снижение удельной массы двигателя в расчете на единицу выдаваемой мощности и ускорение обновления модельного ряда двигателей, т.к. будет покупаться новый модернизированный двигатель взамен старого, что приносит дополнительную прибыль машиностроительному предприятию. В свою очередь, двигатели отечественной техники являются ремонтнопригодными и на специализированных ремонтных предприятиях осуществляется ремонт двигателей с полной разборкой на детали. После разборки детали проходят очистку (мойку) и дефектацию.

Основными важнейшими деталями двигателя внутреннего сгорания, которые проходят дефектацию являются: блок цилиндров, коленчатый вал, распределительный вал, головка блока цилиндров, шатуны и т.д. Отсюда ясно, что потеря одной из этих деталей при ремонте увеличивает стоимость отремонтированного двигателя. Поэтому операции дефектации должны проводиться тщательно, грамотно и с применением средств измерений требуемой точности. С другой стороны, если изношенная деталь будет принята как годная к дальнейшей эксплуатации, а ее размер (имеются ввиду детали с поверхностью типа «вал») будет меньше допускаемого, то возможен более ранний выход из строя такой детали. Если деталь будет признана негодной к дальнейшей эксплуатации, то вместо нее приобретается новая и идет на сборку.

Детали, имеющие поверхности типа «вал», например коренные и шатунные шейки коленчатых валов и кулачки с шейками распределительных валов, могут быть обработаны на специализированном оборудовании под ремонтные размеры. Соответственно приобретаются вкладыши (для установки коленчатого вала) и опоры (для распределительного вала) ремонтного размера.

Метрологическое обеспечение процесса ремонта является первостепенной задачей при недопущении значительных рисков, появляющихся в результате контроля и дефектации [6, 7]. Главную роль в этом процессе играет выбор средств измерений в плане оценки погрешности [8, 9], а также само рассеяние измеряемых параметров [10-12]. С другой стороны, существенное значение имеют и заранее назначенные места измерений, а также методика проведения дефектации.

Целью наших исследований является математическое описание процесса дефектации и разработка инструмента для анализа размеров и отклонений формы дефектуемых деталей.

Материалы и методы. Объектом исследований являются операции дефектовки деталей в ремонтном производстве. Исследования проводились на ремонтных предприятиях агропромышленного комплекса.

Дефектация, как метод контроля изношенных поверхностей состоит из ряда важных этапов [13]:

- внешний осмотр, когда выявляются критические дефекты – трещины и сколы, задиры и царапины, выкрашивание и выгорание части поверхностей и т.д.);
- контроль размеров и выявление ожидаемых дефектов;
- контроль размеров и выявление мало ожидаемых дефектов;
- дефектоскопия с целью обнаружения скрытых дефектов – трещин и раковин;
- возможен контроль шероховатости изношенной поверхности детали.

При дефектации коленчатого вала (коленвала) определяются действительные размеры поверхностей коренных и шатунных шеек в тех плоскостях и сечениях, которые имеют наибольший износ, после чего делается заключение о состоянии исследуемой поверхности. Обобщенно можно сформировать четыре вида заключений о годности вала к дальнейшей эксплуатации:

- если размеры всех шатунных и коренных шеек находятся в пределах заданных отклонений, то коленвал считается годным;
- если размеры всех шатунных и коренных шеек больше установленных допустимых, то коленвал считается годным;
- если размер хотя бы одной шатунной или коренной шейки вышел за рамки допустимых размеров, то коленчатый вал требует восстановления, причем под конкретный ремонтный размер идет обработка всех одноименных шеек, например – коренных под 1-й ремонтный размер, а шатунных – под 2-й у одного вала;
- если размер хотя бы одной шатунной или коренной шейки вышел за рамки предельного – вал сдается в утиль и приобретает новый.

Результаты и обсуждение. Произведем математическое описание процесса дефектации в виде неравенств и с учетом того, что в процессе дефектации вместе с размерами необходимо контролировать отклонения формы и расположения поверхностей, и если полученные значения выше допустимых, то по валу делается соответствующее заключение.

В соответствии с изложенным методическим подходом, можно сформировать математические условия принятия решения для валов:

- 1) при условии $d_{\min} \leq d_{u\min} \leq d_{\max}$ и $\Delta_{\max} \leq \Delta$ – элемент вала годен;
- 2) при условии $d_{u\min} \geq d_{\text{доп}}$ и $\Delta_{\max} \leq \Delta$ – элемент вала годен;
- 3) при условии $d_{\text{пр}} \leq d_{u\min} \leq d_{\text{доп}}$ и/или $\Delta_{\max} \geq \Delta$ – элемент ремонтпригоден;
- 4) при условии $d_{\min} \leq d_{\text{пр}}$ – выбраковка вала в металлолом,

где $d_{u\min}$ – наименьший размер элемента, полученный в результате дефектации; $d_{\text{доп}}$ – допускаемый размер, установленный в нормативной документации, если его нет, то принимается $d_{\text{доп}} = d_{\min}$; $d_{\text{пр}}$ – предельный размер; $\Delta_{\max}$ – наибольшее установленное отклонение формы или расположения поверхностей в результате дефектации; Δ – нормируемое в нормативной документации отклонение формы или расположения поверхностей.

Условие 2 в настоящее время используется для шеек коленвала, так как исчезло понятие гамма-процентный ресурс, который закладывался при капитальном ремонте двигателя в СССР. Это позволяло сделать отступления от наименьшего размера диаметра шейки вала на определенную величину с учетом того, что будет выполнено соединение с новой сопрягаемой деталью и обеспечится заданная надежность на весь период эксплуатации до следующего капитального ремонта. Сейчас уходит и термин капитальный ремонт двигателя, так как такой ремонт предполагает максимально возможное обновление всех узлов и агрегатов двигателя, а это дорого.

Исходя из особенностей износа коренных и шатунных шеек коленвала при контроле и дефектации назначаются плоскости и сечения, представленные на рисунках 1, 2 а, б и 3 а, б (в соответствии с ГОСТ 18509-88).

Шатунные шейки коленвала измеряются в двух сечениях по двум плоскостям – параллельно плоскости кривошипа (S1) и перпендикулярно (S2), (рисунок 1 и 2 а,б).

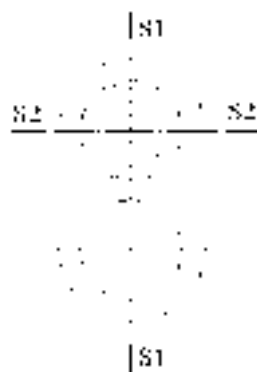


Рисунок 1 – Плоскости дефектации шатунных шеек коленвала
Figure 1 – The plane of the defect of the crankshaft connecting rod journals

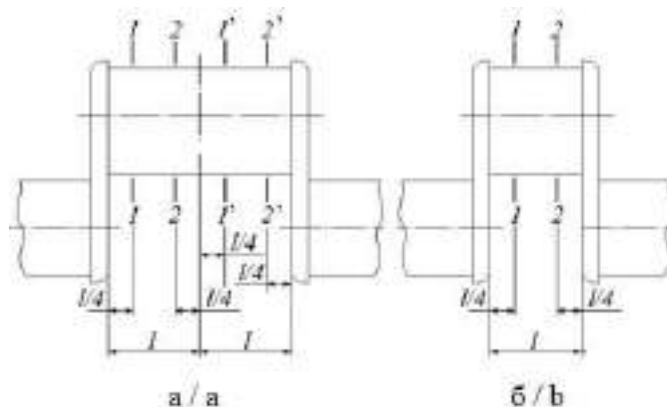


Рисунок 2 – Сечения дефектации шатунных шеек коленвала при наличии на шейке двух (а) и одного шатуна (б)
Figure 2 – Cross-sections for defect detection of connecting rod journals of the crankshaft in the presence of two (a) and one connecting rod (b) on the neck

Коренные шейки следует дефектовать в двух сечениях по двум или трем плоскостям (через 90° или 60°). Плоскость S1 – в плоскости кривошипа первой шатунной шейки, рисунок 3.

Сечения контроля коренной и шатунной шеек находятся у концов на расстоянии 1/4 ее общей длины, первым считается сечение от носка коленчатого вала.

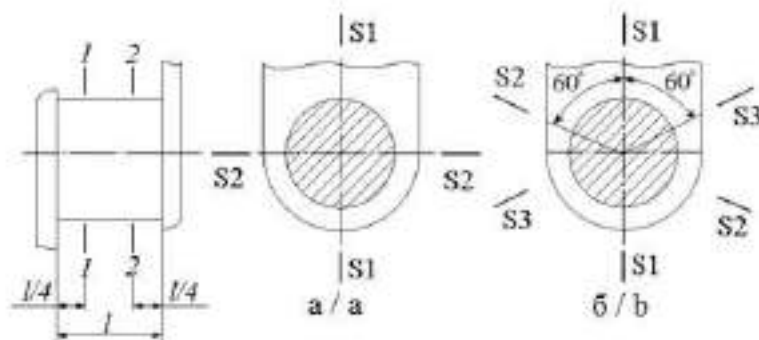


Рисунок 3 – Сечения и плоскости при дефектации коренных шеек коленвала для случаев расположения шатунных шеек под углом 90° и 180° (а) и 120° (б)

Figure 3 – Sections and planes in case of defective crankshaft main journals for cases where the connecting rod journals are located at an angle of 90° and 180° (a) and 120° (b)

Если диаметр шейки не удовлетворяет указанным условиям, то делаются рекомендации по ее обработке под один из ремонтных (Р) или дополнительных (Д) размеров, при соблюдении условия

$$d_{\text{пр}} \leq d_{\text{umin}} - q,$$

где $q = 0,06$ мм – припуск на обработку.

Если хотя бы по одной из шеек это условие не выполняется, то коленчатый вал выбраковывается или шейки восстанавливаются под номинальный размер, при условии, что оборудование для восстановления имеется на предприятии. Обычно такого оборудования нет и покупается новый вал в виде запасной части.

Рассмотрим пример дефектации коренных и шатунных шеек коленвала двигателя ЯМЗ – 238. Для удобства анализа контролируемых размеров был разработан контрольный листок (таблица 1).

Таблица 1 – Контрольный листок дефектации коленчатого вала двигателя ЯМЗ – 238

Table 1 – Checklist for defect detection of the crankshaft of the engine YaMZ -238

Действительный диаметр шейки / Actual diameter of crankshaft journals	Значение, мм / Value, mm	Отклонение формы, мм / Shape deviation, mm		Заключе- ние / Conclusion
		конусообраз- ность / taper	овальность / ovality	
1	2	3	4	5
Первая коренная шейка Ø110 _{-0,022} / First main journal of the crankshaft Ø110 _{-0,022}				
В сечении 1 и плоскости S1 / In section 1 and plane S1	109,92 / 109.92	0,01 в плоскости S1 / 0.01 in plane S1	0,02 в сечении 1-1 / 0.02 in section 1-1	Обработка под ре- монтный размер / Processing for repair size
В сечении 2 и плоскости S1 / In section 2 and plane S1	109,94 / 109.94			
В сечении 1 и плоскости S2 / In section 1 and plane S2	109,90 / 109.90	0,01 в плоскости S2 / 0.01 in plane S2	0,01 в сечении 2-2 / 0.01 in section 2-2	
В сечении 2 и плоскости S2 / In section 2 and plane S2	109,93 / 109.93			
В сечении 1 и плоскости S3 / In section 1 and plane S3	109,95 / 109.95	0,015 в плоскости S3 / 0.015 in plane S3	-	
В сечении 2 и плоскости S3 / In section 2 and plane S3	109,92 / 109.92			

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Первая шатунная шейка $\varnothing 88_{-0,022}$ / First connecting rod journal of the crankshaft $\varnothing 88_{-0,022}$				
В сечении 1 и плоскости S1 / In section 1 and plane S1	87,84 / 87.84	0,02 в плоскости S1 / 0.02 in plane S1	0,025 в сечении 1-1 / in 0.025 section 1-1	Обработка под ре- монтный размер / Processing for repair size
В сечении 2 и плоскости S1 / In section 2 and plane S1	87,88 / 87.88			
В сечении 1 и плоскости S2 / In section 1 and plane S2	87,89 / 87.89	0,01 в плоскости S2 / 0.01 in plane S2	0,015 в сечении 2-2 / in 0.015 section 2-2	
В сечении 2 и плоскости S2 / In section 2 and plane S2	87,91 / 87.91			

Из данных контрольного листка видно, что износ коренной шейки протекает медленнее, чем шатунной, которая имеет наибольшие величины износа в плоскости S1. Это связано с тем, что именно в этой плоскости наибольшее давление на шатунную шейку в такте сжатия и такте разряжения. Из-за этого износа шатунной шейки именно в верхней части возможно снижение радиуса кривошипа. Коренная шейка изнашивается достаточно равномерно.

В результате дефектации данных шеек ясно, что они могут быть обработаны под ремонтный размер – для коренной $\varnothing 109,75_{-0,022}$, и для шатунной $\varnothing 87,75_{-0,022}$.

Заключение. Таким образом, произведено математическое описание процесса дефектации в виде неравенств и с учетом того, что в процессе дефектации вместе с размерами необходимо контролировать отклонения формы и расположения поверхностей. Разработан контрольный листок для анализа размеров и отклонений формы каждой шейки дефектуемого коленчатого вала. Приведен пример дефектации первой коренной и первой шатунной шейки коленчатого вала двигателя ЯМЗ.

Conclusions. A mathematical description of the flaw detection process has been made in the form of inequalities and taking into account the fact that in the process of flaw detection, along with dimensions, it is necessary to control deviations in the shape and location of surfaces. A checklist has been developed to analyze the dimensions and shape deviations of each journal of the defective crankshaft. An example of fault detection of the first main and first connecting rod journal of the crankshaft of the YaMZ engine is given.

Библиографический список

1. Белов В. В., Лопатин А. К. Алгоритм оценки геометрических параметров изделий, находящихся на конвейерной ленте. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 6 (34). С. 34-42.
2. Белов В. В., Лопатин А. К. Формирование смесей алгоритмов для решения задачи автоматического измерения размеров изделий на конвейерной ленте. Cloud of Science. 2017. Т. 4. № 3. С. 384-394.
3. Леонов О. А., Шкаруба Н. Ж. Нормирование погрешности косвенных измерений при приёмо-сдаточных испытаниях двигателей. Измерительная техника. 2022. № 8. С. 23-27.
4. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051-81) РД 50-98-86: методические указания. М.: Издательство стандартов, 1987. 80 с.
5. Бондарева Г. И. Основы проектирования операций входного контроля на машиностроительных предприятиях. Москва: ООО "ОнтоПринт", 2020. 89 с.
6. Шкаруба Н. Ж. Совершенствование метрологического обеспечения ремонтного производства агропромышленного комплекса: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 2019. 274 с.
7. Шкаруба Н. Ж. Управление рисками измерительных процессов в ремонтном производстве. Международный технико-экономический журнал. 2018. № 6. С. 77-82.

8. Карпузов В. В., Шкаруба Н. Ж., Сапожников И. И., Антонова У. Ю. Выбор средств измерений для входного контроля качества поршней в условиях ремонтного производства. *Международный технико-экономический журнал*. 2018. № 4. С. 83-89.

9. Чигрик Н. Н. Исследование влияния погрешности средства измерений на параметры разбраковки и точность технологического процесса при измерительном контроле высоты поршневых колец автомобильного двигателя. *Омский научный вестник*. 2014. № 2 (130). С. 86-92.

10. Чигрик Н. Н. Оценка точности элементных размеров деталей цилиндрико-поршневой группы автомобильного двигателя ЗМЗ-511.10. *Омский научный вестник*. 2013. № 2 (120). С. 123-132.

11. Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Оценка технического состояния головок блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 и рекомендации по её восстановлению. *Пермский аграрный вестник*. 2019. № 2 (26). С. 24-33.

12. Вергазова Ю. Г., Чепурин А. В., Черкасова Э. И., Антонова У. Ю. Оценка точности измерений шейки под шкив коленчатого вала двигателя ЯМЗ 38. *Сельский механизатор*. 2022. № 12. С. 38-40.

13. Леонов О. А., Голиницкий П. В., Антонова У. Ю. и др. Выбор средств измерений для дефектации коренных опор двигателя ЯМЗ. *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. № 6. С. 59-63.

References

1. Belov V. V., Lopatin A. K. Algorithm for estimating geometric parameters of products on a conveyor belt. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2016. № 6 (34). Pp. 34-42.

2. Belov V. V., Lopatin A. K. Formation of mixtures of algorithms for solving the problem of automatic measurement dimensions of products on a conveyor belt. *Cloud of Science*. 2017. Vol. 4. No 3. Pp. 384-394.

3. Leonov O. A., Shkaruba N. J. Normalization of the error of indirect measurements during acceptance tests of engines. *Measuring technique*. 2022. No 8. Pp. 23-27.

4. Selection of universal measuring instruments of linear dimensions up to 500 mm (according to GOST 8.051-81): RD 50-98-86 Methodological guidelines. Moscow: Publishing House of Standards, 1987. 80 p.

5. Bondareva G. I. Fundamentals of designing input control operations at machine-building enterprises. Moscow: OntoPrint LLC, 2020. 89 p.

6. Shkaruba N. J. Improvement of metrological support of repair production of the agro-industrial complex : specialty 05.20.03 "Technologies and means of maintenance in agriculture" : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow, 2019. 274 p.

7. Shkaruba N. J. Risk management of measuring processes in repair production. *International Technical and Economic Journal*. 2018. No 6. Pp. 77-82.

8. Karpuzov V. V., Shkaruba N. J., Sapozhnikov I. I., Antonova U. Yu. Selection of measuring instruments for input quality control of pistons in the conditions of repair production. *International Technical and Economic Journal*. 2018. No 4. Pp. 83-89.

9. Chigrik N. N. Investigation of the influence of the error of the measuring instrument on the parameters of the disassembly and the accuracy of the technological process during the measuring control of the height of the piston rings of an automobile engine. *Omsk Scientific Bulletin*. 2014. No 2(130). Pp. 86-92.

10. Chigrik N. N. Evaluation of the accuracy of the element dimensions of the parts of the cylinder-piston group of the ZMZ-511.10 automobile engine. *Omsk Scientific Bulletin*. 2013. № 2 (120). Pp. 123-132.

11. Senin P. V., Rakov N. V., Makeikin A. M. Evaluation of the technical condition of cylinder heads engine ZMZ-406 and recommendations for its restoration. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019. № 2 (26). Pp. 24-33.

12. Vergazova Yu. G., Chepurin A. V., Cherkasova E. I., Antonova U. Yu. Evaluation of the accuracy of measurements of the neck under the crankshaft pulley of the YAMZ 38 engine. *Rural mechanizer*. 2022. No 12. Pp. 38-40.

13. Leonov O. A., Golinitzky P. V., Antonova U. Yu., et al. The choice of measuring instruments for the defect of the main supports of the YAMZ engine. *Agroengineering*. 2022. Vol. 24. No 6. Pp. 59-63.

Информация об авторах

Темасова Галина Николаевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>, e-mail: temasova@rgau-msha.ru

Леонов Олег Альбертович, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, e-mail: oaleonov@rgau-msha.ru

Самордин Андрей Николаевич, соискатель ученой степени кандидата наук кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), e-mail: samordin@rgau-msha.ru

Леонов Дмитрий Олегович, студент магистратуры по направлению стандартизация и метрология, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), e-mail: msau.l@yandex.ru

Author's Information

Temasova Galina Nikolaevna, Ph.D. of Economy sciences, Associate Professor of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>, e-mail: temasova@rgau-msha.ru

Leonov Oleg Albertovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, e-mail: oaleonov@rgau-msha.ru

Samordin Andrey Nikolaevich, applicant for the degree of candidate of sciences, Senior Lecturer of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), e-mail: samordin@rgau-msha.ru

Leonov Dmitriy Olegovich, 2nd year Master's degree student in standardization and Metrology of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), e-mail: msau.l@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-56

DEVELOPMENT OF A PROBABILISTIC MATHEMATICAL MODEL OF THE SOYBEAN SEED SEPARATION PROCESS IN A GRAVITY COLUMN

V. G. Khamuev, S. A. Gerasimenko

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: stanislav.mkm@gmail.com

Received 25.09.2023

Submitted 26.10.2023

*The research was carried out within the framework of the state task FGUN-2022-0007
"To develop innovative complexes of machines with robotic elements for breeding and seed
production of cereals, legumes, and mass crops using electrophysical methods of exposure" for
2022–2024. Funding was allocated by the Ministry of Science and Higher Education of the
Russian Federation*

Summary

The article presents research on the development of a probabilistic mathematical model of the soybean seed separation process in a gravity column. As a result, a mathematical model was obtained describing the separation process on concave curved surfaces (combs), taking into account the geometric characteristics of the combs and columns and the effect of the vibration coefficient of the comb bars

on the effectiveness of the process. Empirically, from the self-cleaning condition of the combs, it was found that with the separation coefficient, as well as the vertical and horizontal coefficients of the bending moment function when the rods vibrate, a fairly high statistical correlation is achieved between the developed mathematical model and experimental values.

Abstract

Introduction. One of the important problems in the agro-industrial complex of agriculture is still the post-harvest processing of grain and the preparation of high-quality seeds. Grain cleaning machines with a sieve mill do not provide the proper quality of seed cleaning in one pass since, during operation, the holes of the sieves are clogged, which leads to a decrease in the quality of cleaning. Soybean seeds are easily injured during cleaning on a grain cleaning machine with a rolling mill, as a result of which the seeds split into cotyledons and damage the embryo (embryo). As a result, the development of a grain cleaning machine free of the above disadvantages is required. Such a device can be a gravity column in which soybean seeds are not injured and there is no clogging of the sieves. **Object.** The object of the study is to determine the regularities of the process of interaction of soybean seeds and impurities with the working surfaces of the gravity separation machine. **Materials and methods.** The research was carried out at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM. A mathematical model has been developed in which the influence of the geometric dimensions of the gravity column is empirically taken into account. **Results and conclusions.** A mock-up sample of a gravity column was developed, where the separation coefficient $\mu = 3.6 \text{ m}^{-1}$, as well as the vertical and horizontal coefficients of the bending moment function during the vibration of the rods, equal to $a = -30 \text{ Pa}^{-1}\text{m}^{-1}$, $b = -31.9 \text{ Pa}^{-1}\text{m}^{-1}$, were determined empirically from the condition of self-cleaning of the combs, $a = -0.58 \text{ Pa}^{-1}\text{m}^{-1}$, $b = -1.47 \text{ Pa}^{-1}\text{m}^{-1}$. A fairly good statistical correlation is achieved between the developed mathematical model and experimental values with a coefficient of determination equal to 0.996 and 0.998, respectively.

Key words: soybean seeds, seed purification, seed sorting, seed separation, gravity columns.

Citation. Khamuev V. G., Gerasimenko S. A. Development of a probabilistic mathematical model of the soybean seed separation process in a gravity column. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 555-566. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-56.

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

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

УДК 631.3

РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ СЕМЯН СОИ В ГРАВИТАЦИОННОЙ КОЛОНКЕ

В. Г. Хамуев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

С. А. Герасименко, младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
г. Москва, Российская Федерация

*Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания FGUN-2022-0007
«Разработать инновационные комплексы машин с элементами роботизации для селекции
и семеноводства зерновых, зернобобовых и масличных культур с применением
электрофизических методов воздействия» на 2022-2024 гг. финансирование выделено
Министерством науки и высшего образования Российской Федерации*

Актуальность. Одной из важных проблем в агропромышленном комплексе сельского хозяйства по-прежнему остается послеуборочная обработка зерна и подготовка качественных семян. Зерноочистительные машины с решетным станом не обеспечивают должного качества очистки семян за один проход, так как во время работы отверстия решет забиваются, что приводит к снижению качества очистки. Семена сои легко травмируются при очистке на зерноочистительной машине с решетным станом в следствии чего семена раскалываются на семядоли или повреждаются

зародыш (эмбрион). Поэтому требуется разработка зерноочистительной машины свободной от вышеописанных недостатков. Таким устройством может быть гравитационная колонка в которой семена сои не травмируются, а забиваемость гребенок отсутствует. **Объект.** Объектом исследования являются закономерности процесса взаимодействия семян сои и примеси с рабочими поверхностями гравитационной сепарирующей машины **Материалы и методы.** Исследования проводили в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Разработана математическая модель, в которой эмпирически учитывается влияние геометрических размеров гравитационной колонки. **Результаты и выводы.** Разработали макетный образец гравитационной колонки, где были определены эмпирическим путём из условия самоочищаемости гребёнок коэффициент сепарации $\mu = 3,6 \text{ м}^{-1}$, а также вертикальных и горизонтальных коэффициентах функции изгибающего момента при вибрации прутков, равных $a = -30 \text{ Па}^{-1} \text{ м}^{-1}$, $b = -31,9 \text{ Па}^{-1} \text{ м}^{-1}$, $\tilde{a} = -0,58 \text{ Па}^{-1} \text{ м}^{-1}$, $\tilde{b} = -1,47 \text{ Па}^{-1} \text{ м}^{-1}$ достигается довольно высокая статистическая корреляция между разработанной математической моделью и экспериментальными значениями с коэффициентом детерминации равным 0,996 и 0,998 соответственно.

Ключевые слова: семена сои, очистка семян, сортировка семян, сепарация семян, гравитационные колонки.

Цитирование. Хамуев В. Г., Герасименко С. А. Разработка вероятностной математической модели процесса сепарации семян сои в гравитационной колонке. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 555-566. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-56.

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. К настоящему времени разработано большое количество зерноочистительной техники, предназначенной для определённых этапов очистки [1-4]. В нашей стране послеуборочная обработка сои происходит на типичных зерноочистительных агрегатах и комплексах, на поточных линиях, укомплектованных различными типами зерноочистительных машин [5, 6].

В хозяйствах для очистки и сортировки семян сои обычно используют любые имеющиеся в хозяйстве машины [7-10]. Однако высокое качество доработки способна обеспечить не каждая машина, поскольку не вся зерноочистительная техника рассчитана на очистку семян сои. Соевый ворох содержит, в основном, тяжело отделяемые примеси: дефектные, битые вдоль и поперек семена и семена сорняков. Для их удаления нужны высокие скорости воздушного потока, точный подбор сит и тщательное соблюдение определенной последовательности в выполнении технологических операций. Кроме того, соя легко травмируется рабочими органами машин с решетным станом [11].

Исследованию процесса сепарации на гравитационном решете посвящены работы ученых: Зюлин А. Н., А. А. Стрелков, Ямпиллов С. С., Балданов В. Б., Одиноких А. А., Шацкий В. П. и др. [12]. Многие математические модели, описывающие процесс сепарации на вогнутом гравитационном решете, не учитывают коэффициент вибрации прутков, толщину прутков, количество гребенок при минимальной высоте колонки. Поэтому необходимо разработать математическую модель процесса сепарации с учетом вышеописанных параметров. Целью исследования является повышение эффективности очистки и сортировки семян сои в селекции и семеноводстве гравитационной сепарирующей машиной за счет определения коэффициента сепарации и вертикальных и горизонтальных коэффициентах функции изгибающего момента при вибрации прутков.

Материалы и методы. Объектом исследования является закономерности процесса взаимодействия семян сои и примеси с рабочими поверхностями гравитационной сепарирующей машины. Задача описания движения частиц по пруткам гребенки связа-

на с необходимостью учета целого ряда параметров при данном движении. К ним, в частности, можно отнести характер движения (поступательный, вращательный, прыжковый), взаимодействие частиц между собой (относительное движение частиц между собой), взаимодействие частиц с прутками гребенки (относительное движение частиц и прутков), собственное движение прутков, форма и размеры прутков гребенки. Подбор рациональных условий приводит к необходимости выделения наиболее существенных параметров и абстрагирования от менее существенных при определенных скоростях течения потока частиц, толщине слоя, относительных размеров частиц. Всё это приводит к модельному рассмотрению движения потока частиц.

Можно выделить два принципиально разных подхода к решению такого рода задач. Первый подход включает рассмотрение уравнений движения для элемента массы (или в частном случае единичного зерна) по пруткам гребенки [13, 14]. При этом элемент массы рассматривается как материальная точка, на которую действуют силы: гравитационная, сила реакции опоры и сила трения. Характер рассматриваемого движения может быть, как в целом поступательный [13], так и с учетом вращения для случая частиц с относительно простой формой: сферической и эллипсоидальной с изменением общей массы. При этом закон изменения массы является, строго говоря, отступлением в сторону эмпирического закона, основанного на вероятностных закономерностях. Одним из преимуществ такого подхода является возможность привести результат в отдельных случаях к аналитической форме, а также получить явную зависимость, например, для формы прутьев гребенки [13], оценку характерных времён прохода гребенки и зависимости от углов установки для случая плоской гребенки. Такой подход может достаточно хорошо описывать движение относительно слабо взаимодействующих зерен.

При этом, во-первых, на поток зерен накладываются ограничения по числу слоёв, что ограничивает общую скорость сепарирования установки с подобранными таким методом параметрами. К тому же сами по себе гребенки работают в режиме неполной загрузки. Во-вторых, в уравнениях движения одиночной частицы – зерна зачастую используется сила сопротивления движения (сила сухого трения $F = \mu_{\text{тр}} N_{\text{оп}}$, где $\mu_{\text{тр}}$ – коэффициент трения, $N_{\text{оп}}$ – реакция опоры), характерная только для движения по пруткам одиночного зерна и к тому же без учета влияния давления вышележащих слоёв. Имеется в виду, что данная сила уже не применима к следующему, более высоко лежащему слою (требуется модификация силы сопротивления). Также на практике сила реакции опоры подразумевает учет дополнительной прижимной силы, возникающей вследствие давления выше лежащих слоёв. В-третьих, различия с экспериментом могут возникать из-за более сложного характера движения, чем просто поступательное (скачкообразное движение, вращение, отсутствие учета собственного колебательного движения прутков, пролет частицы и пр.). Попытка учета более сложного движения элемента массы приводит к необходимости введения дополнительных эмпирических параметров, что с одной стороны усложняет модель, делая её более громоздкой. С другой стороны, это приводит к необходимости проведения дополнительного эксперимента, направленного на определение введенных эмпирических параметров, переносимость которых от одной установки к другой будет требовать подтверждения.

Альтернативным подходом является нижеследующий. Процесс просеивания или непрохода сквозь прутки решета является случайным. Соответственно отношение, например, числа просеявшихся частиц к общему числу частиц, взятому по массе можно рассматривать как вероятность события просеивания. Аналогичным образом обстоят дела с непроходом (непросеиванием). Соответствующий подход можно рассматривать как вероятностное описание движения элементов массы (зерен). Рассмотрение просеи-

ваний или непроходов сквозь прутки гребенки, будучи проанализированным в течении продолжительного временного интервала и/или просеивания больших объемов, позволяет нивелировать отклонения, связанные с единичными случайными событиями просеиваний или непроходов. Это позволяет перейти от рассмотрения дискретной функции изменения числа частиц к непрерывно изменяющейся функции (например, массы зерен и примеси). При этом в многоступенчатых системах, состоящих из нескольких одинаковых гребенок, свести фактически к рассмотрению поведение для одиночной гребенки. Это позволяет связать рекуррентно число частиц, просеявшихся и не прошедших при прохождении определенной гребенки с числом частиц после прохождения предыдущей гребенки. Данное рассмотрение потока частиц позволяет абстрагироваться от всей сложности движения отдельных зерен и вороха (примеси) и перейти к практически важным параметрам. При этом можно разделять случаи полной и частичной загрузки решет, вводя соответствующие параметры. В работах Стрелкова А. А. и Балданова В. Б. предлагались модели сепарации, построенные на вероятностном описании сложного движения элементов массы. При этом получающаяся просеиваемость, зависящая в общем случае от множества параметров сепаратора, сводилась к некоторой более простой функции. Зависимость прохождения мелкой фракции от геометрических размеров учитывалась неявно, путем введения таких эмпирических параметров, как, например, коэффициент сепарации, или набор параметров, характеризующих пропускную способность решета, вероятность частицы остаться (или просеяться) и вероятность мелкой частицы просеяться из слоя зерна. Недостатком данного подхода является неявная зависимость эмпирически определенных параметров от геометрических размеров сепарирующей установки. Решение данной проблемы может быть связано с постановкой натурного эксперимента, из которого данные параметры могут быть определены. А также путем учета параметров методом последовательных приближений. Суть данного подхода заключается в постепенном уточнении до необходимого уровня соответствия путем введения дополнительных параметров, влияющих на изменение массы просеивания в результате прохождения потока частиц вдоль прутьев гребенки.

Результаты и обсуждение. Была построена математическая модель, в которой в том числе эмпирически учитывается влияние геометрических размеров сепаратора. Для данной модели были учтены следующие геометрические параметры:

- 1) длина дуги прутка (через центральный угол и радиус прутка),
- 2) диаметр прутка,
- 3) период прутков (расстояние между прутками гребенки),
- 4) количество гребенок при минимальной глубине канала,
- 5) диаметр мелкой фракции (приближение сферической формы).

Рассматривается система, состоящая из двух типов частиц. Первый тип частиц условно называется мелкая фракция, второй тип частиц – крупная фракция. Рассматривается движение потока, состоящего из двух таких фракций с частичным просеиванием мелкой фракции, где вероятность события просеивания мелкой фракции является функцией таких параметров сепаратора, как, в том числе, длина прутков гребенки (L), расстояние между прутками гребенки (w), диаметр прутка (d). В свою очередь, длина прутка гребенки с формой дуги окружности (рисунок 1) может быть выражена через радиус (R), а также центральный угол (φ) по формуле (1), высота одиночной гребенки h выражается по формуле (2), а полная высота, состоящая из N гребенок по формуле (3).

$$L = \varphi R \quad (1)$$

где, L – длина прутков гребенки, мм; φ – центральный угол, гр.; R – радиус окружности, мм.

$$h=2R\sin(\varphi/2), \quad (2)$$

где, h – высота одной гребенки, мм.

$$H=Nh=2NR\sin(\varphi/2), \quad (3)$$

где, N – число гребенок.

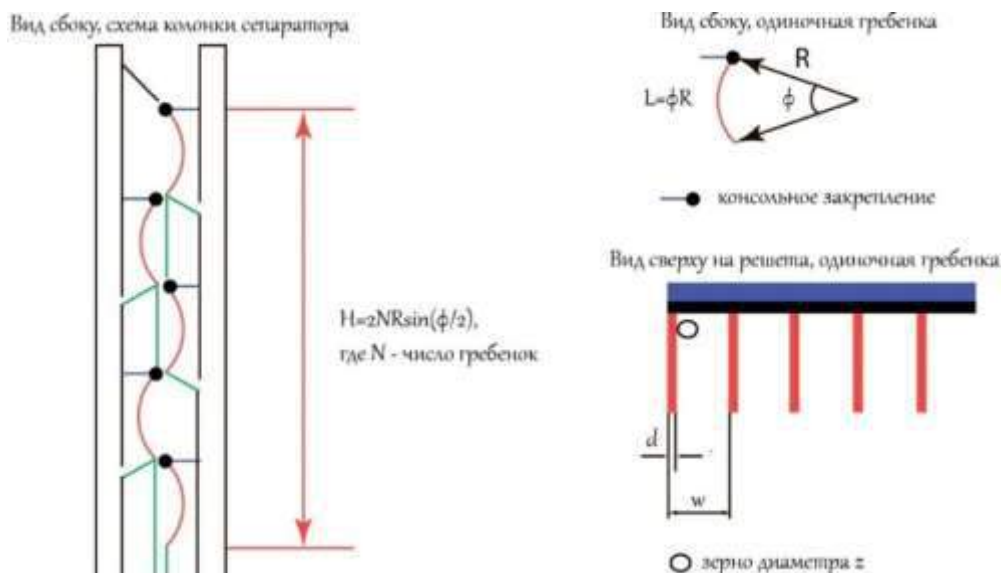


Рисунок 1 – Схема гравитационного сепаратора (а), а также отдельной его гребенки (б) с условными и цветовыми обозначениями (черный – основа, красный – гребенки, фиолетовый – консольное закрепление, зеленый – дополнительные элементы для отвода просеянного материала)
 Figure 1 – Diagram of the gravity separator (a), as well as its separate comb (b) with conventional and color designations (black – base, red – combs, purple – cantilever attachment, green – additional elements for removing the sifted material)

В случае закрепления гребенки так, что отрезок (зеленый отрезок на рисунке 2), проведенный через края дуги прутка, не вертикален и гребенки располагаются так, что при переходе с одной на другую нет зазора, N умножается на $\sin\alpha$, где α – угол между отрезком и горизонтом (рисунок 2).

Тем не менее, это не влияет на подбор параметров и угла $0<\alpha<90^\circ$, задача ставится так, что необходимо найти наименьшую величину H , при которой за N проходов по гребенкам достигается остаточная доля мелкой фракции не более некоторого, наперед выбранного критерия δ (фактически это соответствует оставшемуся проценту от исходного количества мелкой фракции).

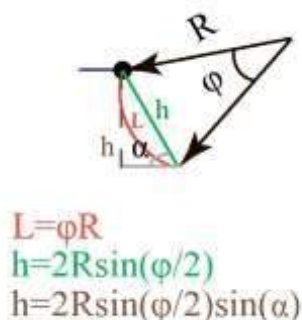


Рисунок 2 – Наклонное расположение гребенки и соответствующие условные обозначения
 Figure 2 – The inclined arrangement of the comb and the corresponding symbols

Дополнительным предположением является эквивалентность всех просеивающих гребенок, что предполагает одинаковые геометрические параметры и вероятность просеивания. В работе Стрелкова А.А. рассматривался случай работы гребенок в режиме полной и частичной загрузки. С точки зрения минимальной глубины канала наиболее эффективным является такое устройство сепаратора, чтобы все гребенки работали в режиме полной загрузки, а критерий δ выполнялся по окончании прохода последней (нижней) гребенки.

Таким образом, критерием оптимальности с точки зрения глубины канала является условие (4):

$$T^N < \delta, \quad (4)$$

где T – вероятность пройти одно решето (вероятность не просеивания), а соответственно T^N – вероятность пройти N решет. При этом $T=1-P$, где P – вероятность просеивания.

В свою очередь вероятность просеивания P связывается с геометрическими факторами и может быть представлена в виде (5)

$$P = P_x P_y, \quad (5)$$

где P_y – вероятность просеивания вдоль направления гребенок, P_x – вероятность просеивания в ортогональном направлении (поперек гребенок).

По аналогии с работами считается, что по мере продвижения вдоль направления гребенок на величину dy происходит уменьшение массы на dM , определяемое выражением (6):

$$dM = -\mu M dy, \quad (6)$$

где μ – коэффициент сепарации с размерностью [длина⁻¹], проинтегрировав выражение (6) с учетом начального условия получаем закон изменения массы при прохождении расстояния L в виде (7):

$$M(L) = M_0 e^{-\mu L}, \quad (7)$$

где M_0 – масса сепарируемой фракции до начала прохода по решетку (т.е. $M(0) = M_0$).

Подход к определению коэффициента μ описан ниже по тексту.

Выражение (7) предполагает, что уменьшение происходит с самого начала гребенки. В действительности учет геометрических размеров мелкой фракции может приводить к меньшему результату, отличающемуся на величину диаметра малой фракции, что сокращает эффективную длину гребенки $L_{эфф} = L - z$, а соответствующая массовая доля, прошедшая одну гребенку, будет тесно связана с вероятностью просеивания (P_y) (8):

$$1 - P_y = e^{-\mu L_{эфф}}, \text{ т.е. } P_y = 1 - e^{-\mu L_{эфф}} \quad (8)$$

где, P_y – вероятность просеивания вдоль направления гребенок, $L_{эфф}$ – эффективную длину гребенки, мм; μ – коэффициент сепарации с размерностью [длина⁻¹]

В свою очередь вероятность просеивания в ортогональном направлении (P_x) будет определяться эффективными свободными линейными размерами. С учетом того, что в направлении x гребенку можно рассматривать, состоящей из повторяющихся прутков с диаметром d на расстоянии w , эффективный свободный линейный размер с учетом размеров малой фракции d , отнесенный к расстоянию w может быть представлен выражением (9), что фактически и выражает вероятность просеивания P_x :

$$P_x = \frac{w-d-z}{w}, \quad (9)$$

где, P_x – вероятность просеивания в ортогональном направлении (поперек гребенок); w – расстояние между прутками гребенки, мм; d – диаметр прутка, мм; z – диаметр зерновки, мм

Таким образом, выражение для вероятности прохождения до конца решета будет определяться уравнением (10):

$$T = 1 - P_x P_y = 1 - \left(\frac{w-d-z}{w} \right) (1 - e^{-\mu L_{эфф}}), \quad (10)$$

а условие (4) переписывается в виде (11):

$$\left(1 - \left(\frac{w-d-z}{w} \right) (1 - e^{-\mu L_{эфф}}) \right)^N < \delta \quad (11)$$

Выражение (11) было получено без учета возможной вибрации прутков гребенки, которая может влиять на величину просеивания, которая помимо введенных выше геометрических параметров будет являться также и функцией от амплитуды колебаний. Естественным образом амплитуда колебаний при жестком консольном закреплении будет иметь нулевую амплитуду у стенки и максимальную амплитуду ($f(y/L)$) на свободно висящем конце в любой момент времени, что может быть отражено эмпирической зависимостью функции вида (12):

$$Y(y) = f\left(\frac{y}{L}\right) \sin(\omega t), \quad (12)$$

где $Y(y)$ – зависимости колебания от координаты y вдоль прутка со временем t , ω – частота установившихся колебаний. При этом граничные условия на закрепленном конце примут вид (13):

$$Y(y=0) = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial}{\partial y} Y(y=0) = 0 \quad (13)$$

Заменим сложную распределенную силу, действующую на прутки некоторой эффективной силой q , пропорциональной массе. Эта сила будет складываться из двух частей: происходящей от нефилтρουемой крупной фракции ($q_{эфф, кр}$) и переменной (убывающей, $q_{эфф, м}(n)$), происходящей от филтρουемой мелкой фракции и являющейся функцией от n – номера гребенки (14):

$$q_{эфф} = q_{эфф, кр} + q_{эфф, м}(n) \quad (14)$$

В предположении, что $q_{эфф, кр} \gg q_{эфф, м}(n)$, можно считать $q_{эфф} \approx q_{эфф, кр}$. Фактически это условие означает, что во всех решетках на одинаковом расстоянии от точки закрепления амплитуда колебаний одинаковая, т.е. функция Y не зависит от номера решетки. При этом функция изгибного момента M_m разложится в ряд по степеням y/L (15):

$$M_m \approx q_{эфф} \left(k_1 \left(\frac{y}{L} \right) + k_2 \left(\frac{y}{L} \right)^2 \right) \sin(\omega t), \quad (15)$$

где k_1 и k_2 – некоторые коэффициенты.

Выражение (15) является более обобщенным аналогом с учетом временного фактора $\sin(\omega t)$ изгибного момента равномерно нагруженной консоли с одним свободным концом.

Двойное интегрирование уравнения (15) по переменной y с граничными условиями (12) приводит к явному виду функции $Y(y)$ (16)

$$EJ \frac{\partial^2}{\partial y^2} Y = M_m \quad (16)$$

где EJ – изгибная жесткость прутка, являющаяся произведением модуля Юнга (E) на момент инерции сечения (J) (для случая кругового сечения $J = \pi d^4/64$):

$$Y(y) = \frac{q_{эфф}}{EJ} \left(\frac{k_1 L^2}{6} \left(\frac{y}{L} \right)^3 + \frac{k_2 L^2}{12} \left(\frac{y}{L} \right)^4 \right) \sin(\omega t), \quad (17)$$

Считая, что вероятность прохождения дополнительно линейно зависит от амплитудной части (не временной) колебания прутков (17), уравнение (6) можно модифицировать следующим образом (18):

$$dM = M \left(-\mu + C \frac{q_{эфф}}{EJ} \left(\frac{k_1 L^2}{6} \left(\frac{y}{L} \right)^3 + \frac{k_2 L^2}{12} \left(\frac{y}{L} \right)^4 \right) \right) dy, \quad (18)$$

где C – некоторый коэффициент пропорциональности, отвечающий за колебательный вклад прутков.

Объединяя эмпирически введенные коэффициенты в более компактную форму, можно написать выражение (19):

$$dM = M \left(-\mu + \frac{1}{EJ} \left(\frac{a L^2}{1} \left(\frac{y}{L} \right)^3 + \frac{b L^2}{2} \left(\frac{y}{L} \right)^4 \right) \right) dy \quad (19)$$

где $a = \frac{C q_{эфф} k_1}{6}$, $b = \frac{C q_{эфф} k_2}{6}$ – коэффициенты, которые подбираются на практике.

Интегрирование выражения (19) приводит к уравнению (20):

$$M = M_0 e^{\left(-\mu y + \frac{a y^4}{4 E J L} + \frac{b y^5}{5 E J L^2} \right)}, \quad \text{где } y \in (0, L) \quad (20)$$

по аналогии при прохождении $L_{эфф} = L - z$ доля непроецируемой мелкой примеси станет равной (21):

$$P_{y,v} = 1 - e^{\left(-\mu(L-z) + \frac{a(L-z)^4}{4 E J L} + \frac{b(L-z)^5}{5 E J L^2} \right)} \quad (21)$$

Таким образом, неравенство (11) преобразуется в (22):

$$\left(1 - \left(\frac{w-d-z}{w} \right) \left(1 - e^{\left(-\mu(L-z) + \frac{a(L-z)^4}{4 E J L} + \frac{b(L-z)^5}{5 E J L^2} \right)} \right) \right)^N < \delta \quad (22)$$

При этом можно отметить, что обратный переход из неравенства (22) в неравенство (11) происходит при стремлении изгибной жесткости к бесконечности.

Следует так же отметить, что, возможно, для описания более сложных случаев более приближенно к практике, будет полезно еще большее расширение формулы, которое могло бы представить условие (22) в виде (23), где фактически выражение под экспонентой представлено разложением в ряд по степеням $(L-z)$ и добавлены два новых эмпирических параметра c_2 и c_3 :

$$\left(1 - \left(\frac{w-d-z}{w} \right) \left(1 - e^{\left(-\mu(L-z) + c_2(L-z)^2 + c_3(L-z)^3 + c_4(L-z)^4 + c_5(L-z)^5 \right)} \right) \right)^N < \delta \quad (23)$$

Условия (10), (21) и (23) содержат соответственно один (μ), три (μ , a , b) и пять (μ , c_2 , c_3 , c_4 , c_5) параметров. Для их нахождения был изготовлен макетный образец гравитационной колонки с одной гребенкой. При изучении просеянной массы (уравнения 7, 19 и 23) установили под гребенкой пять контейнеров с определенной шириной вдоль направления y (24) (рисунок 3).

$$M = M_0 e^{\left(-\mu y + c_2 y^2 + c_3 y^3 + c_4 y^4 + c_5 y^5 \right)} \quad (24)$$

Для проведения опыта использовали макетный образец гравитационной колонки (рисунок 3), в которой устанавливали поочередно гребенки с зазорами между прутками 4 и 6 мм, разных диаметрах сечения прутка (1, 2, 3 мм) при различных углах наклона гребенки (0° , 20° , 40°) и под различной удельной зерновой нагрузкой (2,32; 7,61; 11,95 кг/(см² ч)) пропускали исходный материал.

Далее путем взвешивания на весах того, что собралось в контейнерах под гребенкой определяли массы, составляли системы уравнений, из которых вычисляли методом наименьших квадратов наиболее подходящие эмпирические коэффициенты.



Рисунок 3 – Общий вид макетного образца гравитационной колонки

Figure 3 – General view of the model sample of the gravity column

Заключение. Была разработана вероятностная математическая модель процесса сепарации семян сои в гравитационной колонке и разработан макетный образец гравитационной колонки в котором эмпирическим путём из условия самоочищаемости гребёнок установлено, что при коэффициенте сепарации $\mu = 3,6 \text{ м}^{-1}$, а также вертикальных и горизонтальных коэффициентах функции изгибающего момента при вибрации прутков, равных $a = -30 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, $b = -31,9 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, достигается довольно высокая статистическая корреляция между разработанной математической моделью и экспериментальными значениями с коэффициентом детерминации равным 0,996.

Получены значения величин вертикальных и горизонтальных коэффициентов функции изгибающего момента при вибрации прутков: $\tilde{a} = -0,58 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, $\tilde{b} = -1,47 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, при которых достигается высокая статистическая корреляция между предсказываемым математической моделью и экспериментальными значениями, что подтверждается близким к единице значением скорректированного коэффициента детерминации, равным 0,998.

Conclusions. Empirically, from the self-cleaning condition of the combs, it was found that with a separation coefficient of $\mu = 3.6 \text{ м}^{-1}$, as well as vertical and horizontal coefficients of the bending moment function during vibration of the rods equal to $a = -30 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, $b = -31.9 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, a fairly good statistical correlation is achieved between the developed mathematical model and experimental values with a coefficient of determination equal to 0.996.

The values of the values of the vertical and horizontal coefficients of the bending moment function during the vibration of the rods are obtained: $a = -0.58 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, $b = -1.47 \text{ Па}^{-1}\text{м}^{-1}$, at which a high statistical correlation is achieved between the predicted mathematical model and experimental values, which is confirmed by the value of the adjusted coefficient of determination close to one, equal to 0.998.

Библиографический список

1. Шабалкина Н. А., Суровцева Е. С. Современные тенденции производства сои в мире и России. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2022. № 12 (94). С. 195-201.
2. Измайлов А. Ю., Шогенов Ю. Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции. Техника и оборудование для села. 2017. № 7. С. 2-6.

3. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Шогенов Ю. Х. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве (окончание). Техника и оборудование для села. 2022. № 4 (298). С. 2-6.
4. Леканов С. В., Стрикунов Н. И., Куницын Р. А. Совершенствование технологии очистки семян зерновых и технических культур. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 7 (201). С. 110-116.
5. Krzysiak Z., Samociuk W., Skic A., Bartnik G., Zarajczyk J., Szmigielski M., Dzik D., Wierzbicki S., Krzywonos L. Effect of sieve drum inclination angle on wheat grain cleaning in a novel rotary clear. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers). 2020. No 60 (5). P. 1751-1758.
6. Giyevskiy A. M., Orobinsky V. I., Tarasenko A. P., Chernyshov A. V., Kurilov D. O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. No 327 (4). 042035.
7. Малюков С. В., Князев А. В., Аксенов А. А., Бородин Н. А., Солнцев А. В. Обзор конструкций машин для обескрыливания, очистки и сортировки семян. Воронежский научно-технический Вестник. 2019. Т. 2. № 2 (28). С. 61-72.
8. Хамуев В. Г., Московский М. Н., Лепешкин К. В., Громов К. В. Тенденции развития технических средств очистки и сортирования семян сельскохозяйственных культур. Инженерный вестник Дона. 2018. № 4 (51). С. 110.
9. Мазитов Н. К., Шогенов Ю. Х., Ценч Ю. С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы. Вестник ВИЭСХ. 2018. N 3 (32). С. 94-100.
10. Загоруйко М. Г., Старостин И. А., Коцарь Ю. А. Автоматизированная система управления технологическим процессом зерноочистительной машины. Аграрный научный журнал. 2020. № 6. С. 93-98.
11. Кабашов В. Ю., Туктаров М. Ф., Байназаров В. Г. Экспериментальное исследование зерноочистительной машины с решетным станом продольно-поперечного колебания. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 2 (50). С. 115-120.
12. Хамуев В. Г., Герасименко С. А. Обоснование конструктивно-компоновочной схемы гравитационно-пневматического очистителя семян сои. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 3. С. 27-32.
13. Шацкий В. П., Оробинский В. И., Попов А. Е. Моделирование движения зернового потока в гравитационном сепараторе. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (47). С. 72-79.
14. Спирина Н. Г., Попов А. Е., Шацкий В. П. О форме решет гравитационных сепараторов. Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-4. С. 125-128.

References

1. Shabalkina N. A., Surovtseva E. S. Modern trends in soybean production in the world and Russia. Economics, labor, management in agriculture. 2022. № 12 (94). Pp. 195-201.
2. Izmailov A. Yu., Shogenov Yu. Kh. Intensive machine technologies and new generation equipment for the production of the main groups of agricultural products. Machinery and equipment for the village. 2017. No. 7. Pp. 2-6.
3. Lachuga Yu. F., Izmailov A. Yu., Lobachevsky Ya. P., Shogenov Yu. Kh. Results of scientific research of agroengineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture (graduation). Machinery and equipment for the village. 2022. N 4 (298). Pp. 2-6.
4. Lekanov S. V., Strikunov N. I., Kunitsyn R. A. Improving the technology of cleaning seeds of grain and industrial crops. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No. 7 (201). Pp. 110-116.
5. Krzysiak Z., Samociuk W., Skic A., Bartnik G., Zarajczyk J., Szmigielski M., Dzik D., Wierzbicki S., Krzywonos L. Effect of sieve drum inclination angle on wheat grain cleaning in a novel rotary clea. Transactions of the ASABE (American Society of Agri-cultural and Biological Engineers). 2020. No. 60 (5). Pp. 1751-1758.
6. Giyevskiy A. M., Orobinsky V. I., Tarasenko A. P., Chernyshov A. V., Kurilov D. O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. No. 327 (4). 042035.

7. Malyukov S. V., Knyazev A. V., Aksenov A. A., Borodin N. A., Solntsev A. V. Design review of machines for de-spraying, cleaning and sorting of seeds. *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. 2019. Vol. 2. No. 2 (28). Pp. 61-72.
8. Khamuev V. G., Moskovsky M. N., Lepeshkin K. V., Gromov K. V. Trends in the development of technical means for cleaning and sorting seeds of agricultural crops. *Engineering Bulletin of the Don*. 2018. No. 4 (51). Pp. 110.
9. Mazitov N. K., Shogenov Yu. K., Tsench Yu. S. Agricultural machinery: solutions and prospects. *Bulletin of RESH*. 2018. N 3 (32). Pp. 94-100.
10. Zagoruiko M. G., Starostin I. A., Kotsar Yu. A. Automated process control system of a grain cleaning machine. *Agrarian Scientific journal*. 2020. No. 6. Pp. 93-98.
11. Kabashov V. Yu., Tuktarov M. F., Baynazarov V. G. Experimental study of a grain cleaning machine with a longitudinal-transverse oscillation sieve mill. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2019. No. 2 (50). Pp. 115-120.
12. Khamuev V. G., Gerasimenko S. A. Substantiation of the design and layout scheme of the gravity-pneumatic soybean seed cleaner. *Agricultural machines and technologies*. 2022. Vol. 16. No. 3. Pp. 27-32.
13. Shatsky V. P., Orobinsky V. I., Popov A. E. Modeling of grain flow motion in a gravity separator *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2015. No. 4 (47). Pp. 72-79.
14. Spirina N. G., Popov A. E., Shatsky V. P. On the shape of gravity separator sieves. *Modern trends in the development of science and technology*. 2016. No. 1-4. Pp. 125-128.

Информация об авторах

Хамуев Виктор Геннадьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail.ru: victor250476@yandex.ru

Герасименко Станислав Александрович, младший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail.ru: stanislav.mkm@gmail.com

Author's Information

Khamuev Victor Gennadievich, Ph.D. in engineering science, leading researcher "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5), e-mail: victor250476@yandex.ru

Gerasimenko Stanislav Aleksandrovich, Junior researcher, "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5), e-mail: stanislav.mkm@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-57

INVESTIGATION OF PHYSIC-CHEMICAL PARAMETERS OF VEGETABLE OILS AFTER DEODORIZATION

A. B. Dalabayev¹, A. B. Sarshaeva²

¹*Astana branch of LLP «Kazakh research institute of processing and food industry»
Astana, Kazakhstan*

²*Taraz Regional University named after M. Kh. Dulaty
Taraz, Kazakhstan*

Corresponding author E-mail: dalabaev_askhat@mail.ru

Received 15.05.2023

Submitted 30.11.2023

The research was carried out within the framework of the scientific and technical program of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan for 2021-2023 BR10764977 "Development of modern technologies for the production of dietary supplements, enzymes, starter cultures, starch, oils, etc. in order to ensure the development of the food industry"

Summary

As part of the study, the physicochemical parameters of several vegetable oils, including sunflower, rapeseed, corn and palm oils, were analyzed. The results of the study indicate that exposure to light have the greatest effect on increasing the values of the peroxide number. This primarily applies to

samples of oils packed in transparent colorless polymer containers. The average peroxide index in this study for locally produced oils did not exceed the limits set by WHO/FAO, amounting to 10 milliequivalents of active oxygen/kg of oil.

Abstract

Introduction. The evaluation of the quality of the oil is based on certain sensations, such as transparency, aroma and taste, which are strictly defined. These factors are of great importance for consumers because they influence their choice. Let's say, for example, all filtered and pureed oils should be transparent, without residue, smell like nothing and have a neutral taste. On the other hand, unprocessed oils must match their source material in smell and taste, and do not contain any extraneous tastes or aromas. Moreover, since the oil containing phospholipids is easily clouded, forming a "web", after a while a sediment may form at the bottom of the tank during prolonged storage. This fact underlines the importance of controlling the oil storage process to avoid spoiling it. **Materials and methods.** The law sets out many specific physical and chemical factors that should be considered when analyzing all types of vegetable oils. They can vary from color, acidity, % moisture and impurities to the amount of phosphorus present. It is important to note that these indicators vary from product to product depending on extraction methods or commercial quality. Moreover, any oil that has undergone alkaline neutralization (refining) must be completely purified from soap; this is something that must be confirmed by an official quality test. **Results and conclusions.** We have tested a batch of vegetable oils for compliance with the safety requirements specified in TR CU 021/2011 and TR CU 024/2011. Fortunately, their physical and chemical characteristics were successful. Acidity levels ranged from 0.2 to 4.6, peroxide numbers from 0.8 to 9.8, and not a single trace of free fatty acids was found. In general, it is safe to say that these oils meet the standards. This allows us to confidently recommend them for use in food products.

Key words: vegetable oils, oil deodorization, physical and chemical indices of oils, glycidyl esters, acid number, peroxide number, mycotoxins.

Citation. Dalabayev A. B., Sarshaeva A. B. Investigation of physic-chemical parameters of vegetable oils after deodorization. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2023. 4(72). 566-573 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-57.

The 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 that there is no conflict of interest.

УДК 665.1.09

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ПОСЛЕ ДЕЗОДОРАЦИИ

А. Б. Далабаев¹, магистр техники и технологии, главный научный сотрудник

А. Б. Саршаева², PhD-докторант, преподаватель

¹Астанинский филиал ТОО "Казахский научно-исследовательский институт
перерабатывающей и пищевой промышленности"

г. Астана, Казахстан

²Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати

г. Тараз, Казахстан

Исследования проводились в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021-2023 годы BR10764977 «Разработка современных технологий производства БАДов, ферментов, заквасок, крахмала, масел и др. в целях обеспечения развития пищевой промышленности»

Актуальность. Оценка качества масла основана на определенных ощущениях, таких как прозрачность, аромат и вкус, которые строго определены. Эти факторы имеют большое значение для потребителей, поскольку влияют на их выбор. Скажем, например, все отфильтро-

ванные и протертые масла должны быть прозрачными, без остатка, не пахнуть и иметь нейтральный вкус. С другой стороны, необработанные масла должны соответствовать своему исходному материалу по запаху и вкусу, не содержать никаких посторонних привкусов или ароматов. Более того, поскольку масло, содержащее фосфолипиды, легко затуманивается, образуя «паутину», через некоторое время на дне резервуара может образовываться осадок при длительном хранении. Этот факт подчеркивает важность контроля за процессом хранения масла, чтобы избежать его порчи. **Материалы и методы.** В законе изложено множество конкретных физических и химических факторов, которые следует учитывать при анализе всех типов растительных масел. Они могут варьироваться от цвета, кислотности, % влаги и примесей до количества присутствующего фосфора. Важно отметить, что эти показатели варьируются от продукта к продукту в зависимости от методов экстракции или товарного качества. Более того, любое масло, прошедшее щелочную нейтрализацию (рафинацию), обязательно должно быть полностью очищено от мыла; это то, что должно быть подтверждено официальным тестом качества. **Результаты.** Мы протестировали партию растительных масел на соответствие требованиям безопасности, указанным в ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 024/2011. Их физические и химические характеристики прошли успешно. Уровни кислотности колебались от 0,2 до 4,6, пероксидные числа от 0,8 до 9,8, и не было обнаружено ни одного следа свободных жирных кислот. В целом можно с уверенностью сказать, что эти масла соответствуют нормам. Это позволяет нам уверенно рекомендовать их для использования в пищевых продуктах.

Ключевые слова: растительные масла, дезодорация масел, физико-химические показатели масел, глицидиловые эфиры, кислотное число, перекисное число, микотоксины.

Цитирование. Далабаев А. Б., Саршаева А. Б. Исследование физико-химических показателей растительных масел после дезодорации. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 566-573. DOI:10.32786/2071-9485-2023-04-57.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

В рамках проведенного исследования были проанализированы физико-химические показатели ряда растительных масел, включая подсолнечное, рапсовое, кукурузное и пальмовое масла. Результаты исследования свидетельствуют о том, что воздействие света оказывает наибольшее влияние на увеличение значений перекисного числа. Это, в первую очередь, относится к образцам масел, упакованных в прозрачную бесцветную полимерную тару. Средний показатель перекиси в данном исследовании для масел местного производства не выходил за рамки установленных ВОЗ/ФАО пределов, составляя 10 мил-эквивалентов активного кислорода/кг масла.

Введение. Масложировая отрасль, как и любая другая промышленная сфера, сталкивается с рядом сложностей и вызовов, которые могут оказывать значительное влияние на ее функционирование и развитие.

Первым и, возможно, самым очевидным препятствием является волатильность цен на сырье. Флуктуации цен на рынке растительных масел, в частности на подсолнечное, рапсовое и пальмовое масло, могут существенно влиять на экономику отрасли. По данным Международного совета по масличным культурам, цены на растительные масла в 2022 году выросли на 60% по сравнению с 2020 годом, что влечет за собой риск увеличения затрат и уменьшения прибыли предприятий отрасли [2, 3].

Вторым вызовом для масложировой отрасли является устойчивость производства. Производство растительных масел связано с необходимостью использования значительных площадей земли, что способствует дефорестации и потере биоразнообразия. В этом контексте отрасль сталкивается с требованиями обеспечения устойчивого производства и соблюдения экологических норм [4, 5].

Токоферолы, являющиеся важными антиоксидантами и включающие четыре формы витамина Е (альфа-, бета-, гамма- и дельта-токоферолы), имеют существенное значение для масляной промышленности. Они способны предотвращать окисление жирных кислот, продлевая срок хранения масел и улучшая их пищевую ценность. Уровень токоферолов в масле варьируется в зависимости от типа масла и условий его производства и хранения. В числе растительных масел, богатых токоферолами, можно выделить пшеничные зародыши, подсолнечное, кукурузное и соевое масло. Содержание альфа-токоферола в подсолнечном масле может достигать 700 мг/кг, в то время как в пальмовом масле этот показатель составляет около 600 мг/кг. Процесс рафинирования, который обычно применяется для улучшения вкусовых качеств масла и его стабильности, может существенно снизить содержание токоферолов. Так, исследования показывают, что в процессе рафинирования может быть потеряно до 60% токоферолов.

Материалы и методы. Центральное место в данном исследовании занимает анализ переработанных масел, среди которых особое внимание уделено подсолнечному, рапсовому, кукурузному и пальмовому. В ходе изучения проб разнообразных растительных масел применялись как классические, так и современные методологии. В рамках современных экспериментальных подходов использовался новейший газовый хроматограф Agilent 7890b, комплектованный тройным квадрупольным масс-спектрометром.

Кислотность масел определялась согласно ГОСТ 31933-2012, где описаны процедуры установления кислотного показателя растительных масел. Перекисное число в маслах идентифицировалось в соответствии с ГОСТ 26593-85, который вводит методологию определения перекисного числа в растительных маслах.

Подобно этому, величина цветности растительных масел была определена в соответствии с ГОСТ 5477-2015, который предоставляет методы оценки цветности. Уровень прозрачности масел был установлен на основании ГОСТ 5472-50, в рамках которого специфически измеряются аромат, цвет и прозрачность растительных масел.

Содержание фосфора в масляных образцах определено с использованием ГОСТ 31753-2012, который определяет методы определения фосфорсодержащих соединений в растительных маслах.

Концентрация микотоксинов, присутствующих в растительных маслах, была оценена и измерена в соответствии с требованиями ГОСТ 30711-2001 для продуктов питания. Данная методика специфично устанавливает, как определить и количественно оценить уровни афлатоксинов В1 и М1.

Результаты и обсуждение. Произведен анализ физико-химических характеристик дезодорированного растительного масла. В числе измеряемых параметров учитывались кислотное число, перекисное число, цветовая характеристика, степень прозрачности, процентное содержание влаги и летучих компонентов, массовая доля фосфорсодержащих соединений, а также концентрация микотоксинов. Все указанные показатели определялись с использованием стандартных методик в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС 024/2011). Результаты проведенного исследования представлены в таблице 1.

В таблице 1 представлены результаты исследования физико-химических свойств рафинированных масел. Обычно кислотные показатели таких масел находятся в диапазоне от 0,2 до 0,5 мг КОН/г. Однако масла КМР и РМ демонстрируют значения кислотности, превышающие стандартные показатели, составляя соответственно 0,35 и 0,2 мг КОН/г. Это указывает на вероятное наличие свободных жирных кислот в составе СМР и РМ, которые могут способствовать образованию глицидиловых эфиров. Перекисное число этих масел

колеблется от 0,8 до 5,9 ммоль активного кислорода/кг, что в рамках установленной регулятивно-технической документации. Цветовые характеристики, уровень прозрачности, массовая доля влаги и летучих веществ, массовая доля фосфорсодержащих веществ, а также уровень микотоксинов, отражающий микробиологическую безопасность масел, соответствуют требованиям нормативно-правовых документов.

Таблица 1 – Физико-химические показатели рафинированных масел

Table 1 – Physic-chemical parameters of refined oils

Наименование показателя	Значение показателя							
	ПМР	Норма	РМР	Норма	КМР	Норма	ПМ	Норма
Кислотное число, мг КОН/г	0,3	0,4	0,2	0,4	1,0	0,35	0,5	0,2
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	4,7	10	6,1	10	5,9	10	0,8	0,9
Цветное число, мг йода	1	10	2	30	4	18	1	30
Степень прозрачности, фем	1	2	1	2	1	2	1	2
Массовая доля влаги и летучих веществ, %	0,01	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,09	0,1
Массовая доля фосфорсодержащих веществ, %	-	-	-	-	-	-	-	-
Содержание микотоксинов, мг/кг (афлотоксин В1)	-	-	0,005	0,005	-	0,005	-	0,005

Воздействие атмосферного кислорода на нефть в результате окислительного процесса выражается в перекисном числе. Автокаталитическое окисление жиров в атмосфере кислорода имеет место в определенной степени во время добычи и обработки жиров. Темп и объем таких окислительных процессов изменяются пропорционально количеству глицеридов, присутствующих в жирах, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты, и степени их ненасыщенности. В результате воздействия кислорода на жиры образуются различные продукты распада, которые могут потенциально негативно влиять на реологические и органолептические свойства жиров. Перекисное число служит маркером свежести и пригодности масла для потребления [9, 10], тем самым определяя его приемлемость для употребления в пищу.

После хранения в условиях затемненного склада параметры кислотности и перекиси в образце масла выявили лишь незначительное увеличение. В частности, по истечении двух месяцев кислотное и перекисное числа зарегистрировали прирост на 0,04 и 0,3 единицы соответственно. Однако в условиях экспозиции масла под воздействием прямых солнечных лучей или искусственного освещения перекисное число проявляло значительное возрастание. В течение месяца хранения перекисное число увеличилось на 1,6 ед., а к концу второго месяца – на 3,5 ед., достигнув 11,1 ммоль активного кислорода на 1 кг нефти. Такое значение превышает допустимые пределы, установленные техническими регламентами и стандартами, что делает продукт негодным для использования. В контрасте с этим при хранении в отсутствии источников света кислотное число оставалось стабильным на уровне 0,32 мг КОН на грамм масла спустя два месяца, а перекисное число, которое уже на начальной стадии хранения было достаточно высоким, возросло всего на 0,3 единицы.

В образцах растительных масел отечественного производства проведен анализ показателей окислительной порчи, таких как кислотное число и перекисное число (см. рисунок 1).

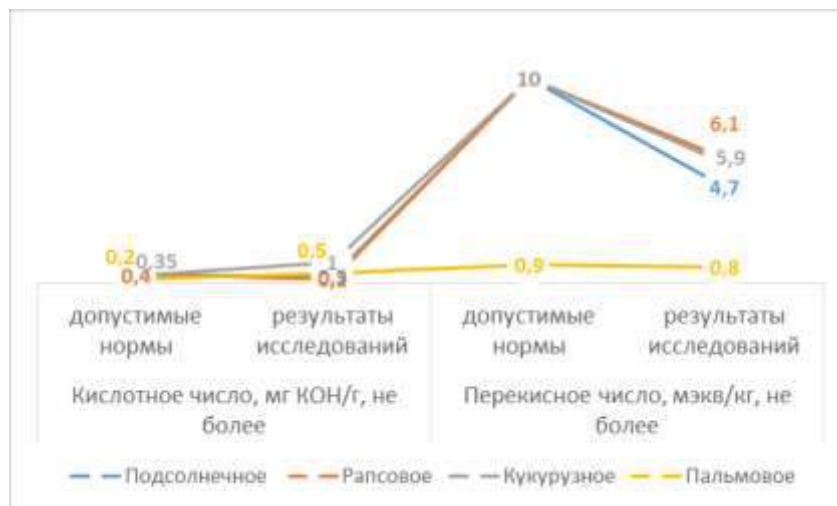


Рисунок 1 – Показатели окислительной порчи растительного масла

Figure 1 – Indicators of oxidative spoilage of vegetable oil

Как можно увидеть из представленного на рисунке 1, выявленные в ходе исследования величины кислотных чисел не превосходили допустимого порога в 0,6 мг КОН/г. Употребление в пищу прогоркшего масла, вероятно, не вызовет немедленного воздействия на здоровье, но может существенно уменьшить пищевую ценность продуктов, разрушая необходимые жирные кислоты и питательные элементы. Значения перекисного числа для исследованных образцов масел не превысили допустимые стандарты и находились в диапазоне 0,8-6,1. Максимальное значение перекисного числа, не выходящее за рамки нормативного показателя, обнаружено у образцов рапсового масла, составляя 6,1 мэкв/кг.

Заключение. В рамках проведенного исследования были проанализированы физико-химические показатели ряда растительных масел, включая подсолнечное, рапсовое, кукурузное и пальмовое масла. Результаты исследования свидетельствуют о том, что воздействие света оказывает наибольшее влияние на увеличение значений перекисного числа. Это, в первую очередь, относится к образцам масел, упакованных в прозрачную бесцветную полимерную тару. Средний показатель перекиси в данном исследовании для масел местного производства не выходил за рамки установленных ВОЗ/ФАО пределов, составляя 10 мил-эквивалентов активного кислорода/кг масла.

Более низкое значение перекиси для масел, вероятно, связано с их более высокой степенью насыщенности, что препятствует процессу окисления, а также наличием антиоксидантов в виде витамина Е, которые продлевают срок годности. Другой возможной причиной может являться то, что масла местного производства требуют дополнительного нагревания для уменьшения содержания влаги, которая сохраняется в семенах до момента производства.

Conclusions. As part of the study, the physicochemical parameters of several vegetable oils, including sunflower, rapeseed, corn and palm oils, were analyzed. The results of the study indicate that exposure to light has the greatest effect on increasing the values of the peroxide number. This primarily applies to samples of oils packed in transparent colorless polymer containers. The average peroxide index in this study for locally produced oils did not exceed the limits set by WHO/FAO, amounting to 10 mil-equivalents of active oxygen/kg of oil.

The lower peroxide value for oils is probably due to their higher degree of saturation, which prevents the oxidation process, as well as the presence of antioxidants in the form of vitamin E, which prolong the shelf life. Another possible reason may be that locally produced oils require additional heating to reduce the moisture content that persists in the seeds until the moment of production.

Библиографический список

1. Garballo-Rubio A., Soto-Chinchilla J., Moreno A., Zafra-Gomez A. A novel method for the determination of glycidyl and 3-monochloropropanediol esters in fish oil by gas chromatography tandem mass spectrometry. *Talanta*. 2017. Pp. 267-273.
2. Masweska M., Florowska A., Dłuzewska E. Oxidative stability of selected edible oils. *Molecules*. 2018. Vol. 23. P. 1746.
3. Yao Y., Cao R., Liu W., Zhou H., Li C., Wang S. Molecular Reaction Mechanism for the Formation of 3-Chloropropanediol Esters in Oils and Fats. *J. Agric. Food Chem.* 2019. V. 67 (9). Pp. 2700–2708.
4. Kamikata K., Vicente E., Ariseto-Bragotto A. P., Miguel A. M. R. de O., Milani R. F., Tfouni S. A. V. Occurrence of 3-MCPD, 2-MCPD and Glycidyl Esters in Extra Virgin Olive Oils, Olive Oils and Oil Blends and Correlation with Identity and Quality Parameters. *Food Control*. 2019. V. 95. Pp. 135–141.
5. Cheng W., Liu G., Liu X. Formation of Glycidyl Fatty Acid Esters Both in Real Edible Oils during Laboratory-Scale Refining and in Chemical Model during High Temperature Exposure. *Agric. Food Chem.* 2016. V. 64. Pp. 5919–5927.
6. Gornas P., Rudzinska M., Raczky M., Misina I., Soliven A., Seglina D. Chemical Composition of Seed Oils Recovered from Different Pear (*Pyrus communis* L.) Cultivars. *Am. Oil Chem. Soc.* 2016. V. 93. Pp. 267-274.
7. Butnariu M. Methods of analysis (extraction, identification and quantification) of carotenoids from natural products. *Ecosys. Ecograph.* 2016. V. 6 (2). 193 p.
8. Cheng W. W., Liu G. Q., Wang L. Q., Liu Z. S. Glycidyl fatty acid esters in refined edible oils: a review on formation, occurrence, analysis, and elimination methods. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2017. Pp. 263-281.
9. Miyazaki K., Koyama K. An improved enzymatic indirect method for simultaneous determinations of 3-MCPD esters and glycidyl esters in fish oils. *Oleo Sci.* 2017. Pp. 1085-1093.
10. Rietjens I. M., Dussort P., Gunther H., Hanlon P., Honda H., Mally A., O'Hagan S., Scholz G., Seidel A., Swenberg J. Exposure assessment of process-related contaminants in food by biomarker monitoring. *Arch Toxicol.* 2018. Pp. 15-40.
11. Le Q., Lay H, Wu M. et al. Phytoconstituents and pharmacological activities of *Silybum marianum* (Milk Thistle). *American Journal of Essential Oils and Natural Products*. 2018. V. 6 (4). Pp. 41-47.
12. Неъматова С. Н., Суванова Ф. У. Исследование растительных масел для купажирования. Развитие науки и технологий. *Научно-технический журнал*. 2022. № 6. С. 236-241.
13. Бараненко Д. А., Ильина В. С., Четчикова А. Ю., Лепешкин А. И., Надточий Л. А., Соколова О. Б. Органолептическая оценка функциональных продуктов питания с использованием инкапсулированных форм биологически активных веществ хвои ели обыкновенной. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2019. № 4. С. 78-84.
14. Евтеев А. В., Крепнева А. А., Горбунова Н. В., Разумова Л. С., Банникова А. В. Анализ физических свойств и биодоступности инкапсулированных форм модельных эссенциальных жирных кислот. *Новые технологии*. 2017. № 1. С. 11-17.
15. Podgornova N. M., Grunina A. A. Evaluation of the Fatty Acid Composition of Vegetable Oils for the Products Enrichment. *Technology and Commodity Science of Innovative Foods*. 2020. No 2 (61). Pp. 58-66.

References

1. Garballo-Rubio A., Soto-Chinchilla J., Moreno A., Zafra-Gomez A. A novel method for the determination of glycidyl and 3-monochloropropanediol esters in fish oil by gas chromatography tandem mass spectrometry. *Talanta*. 2017. Pp. 267-273.
2. Masweska M., Florowska A., Dłuzewska E. Oxidative stability of selected edible oils. *Molecules*. 2018. Vol. 23. P. 1746.

3. Yao Y., Cao R., Liu W., Zhou H., Li C., Wang S. Molecular Reaction Mechanism for the Formation of 3-Chloropropanediol Esters in Oils and Fats. *J. Agric. Food Chem.* 2019. V. 67 (9). Pp. 2700–2708.
4. Kamikata K., Vicente E., Ariseto-Bragotto A. P., Miguel A. M. R. de O., Milani R. F., Tfouni S. A. V. Occurrence of 3-MCPD, 2-MCPD and Glycidyl Esters in Extra Virgin Olive Oils, Olive Oils and Oil Blends and Correlation with Identity and Quality Parameters. *Food Control.* 2019. V. 95. Pp. 135–141.
5. Cheng W., Liu G., Liu X. Formation of Glycidyl Fatty Acid Esters Both in Real Edible Oils during Laboratory-Scale Refining and in Chemical Model during High Temperature Exposure. *Agric. Food Chem.* 2016. V. 64. Pp. 5919–5927.
6. Gornas P., Rudzinska M., Raczyk M., Misina I., Soliven A., Seglina D. Chemical Composition of Seed Oils Recovered from Different Pear (*Pyrus communis* L.) Cultivars. *Am. Oil Chem. Soc.* 2016. V. 93. Pp. 267–274.
7. Butnariu M. Methods of analysis (extraction, identification and quantification) of carotenoids from natural products. *Ecosys. Ecograph.* 2016. V. 6 (2). 193 p.
8. Cheng W. W., Liu G. Q., Wang L. Q., Liu Z. S. Glycidyl fatty acid esters in refined edible oils: a review on formation, occurrence, analysis, and elimination methods. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2017. Pp. 263–281.
9. Miyazaki K., Koyama K. An improved enzymatic indirect method for simultaneous determinations of 3-MCPD esters and glycidyl esters in fish oils. *Oleo Sci.* 2017. Pp. 1085–1093.
10. Rietjens I. M., Dussort P., Gunther H., Hanlon P., Honda H., Mally A., O'Hagan S., Scholz G., Seidel A., Swenberg J. Exposure assessment of process-related contaminants in food by biomarker monitoring. *Arch Toxicol.* 2018. Pp. 15–40.
11. Le Q., Lay H, Wu M. et al. Phytoconstituents and pharmacological activities of *Silybum marianum* (Milk Thistle). *American Journal of Essential Oils and Natural Products.* 2018. V. 6 (4). Pp. 41–47.
12. Nematova S. N., Suvanov F. U. Research of vegetable oils for blending. Development of science and technology. *Scientific and technical journal.* 2022. № 6. Pp. 236–241.
13. Baranenko D. A., Ilyina V. S., Chechetkina A. Yu., Lepeshkin A. I., Nadtochiy L. A., Sokolova O. B. Organoleptic assessment of functional food products using encapsulated forms of biologically active substances of common spruce needles. *Scientific Journal of NIU ITMO. Series: Processes and apparatuses of food production.* 2019. № 4. Pp. 78–84.
14. Evteev A. V., Krepneva A. A., Gorbunova N. V., Razumova L. S., Bannikova A. V. Analysis of the physical properties and bioavailability of encapsulated forms of model essential fatty acids. *New technologies.* 2017. № 1. Pp. 11–17.
15. Podgornova N. M., Grunina A. A. Evaluation of the Fatty Acid Composition of Vegetable Oils for the Products Enrichment. *Technology and Commodity Science of Innovative Foods.* 2020. No 2 (61). Pp. 58–66.

Информация об авторах

Далабаев Асхат Болатулы, магистр техники и технологии, главный научный сотрудник Астанинский филиал ТОО "Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности" (Казахстан, 050060, г. Алматы, пр. Гагарина, д. 238 Г), e-mail: dalabaev_askhat@mail.ru

Саршаева Алия Батырбековна, PhD-докторант, преподаватель Таразского регионального университета им. М. Х. Дулати (Казахстан, 080000, г. Тараз, ул. Сулейменова, д. 7), e-mail: aliya.sarshayeva@bk.ru

Author's Information

Dalabayev Askhat Bolatuly, Master of Engineering and Technology, Chief Researcher, Astana Branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 050060, Almaty, pr. Gagarina, 238 G), e-mail: dalabaev_askhat@mail.ru

Sarshaeva Aliya Batyrbekovna, PhD doctoral student, lecturer at Taraz Regional University named after M. Kh. Dulati (Kazakhstan, 080000, Taraz, Suleimenova St., 7), e-mail: aliya.sarshayeva@bk.ru

TESTING THE PERFORMANCE OF VEHICLE ELECTRIC DRIVE BATTERIES

K. S. Dmitriev

*Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kir0597@yandex.ru

Received 24.10.2023

Submitted 30.11.2023

Summary

The article presents the results of tests of gel batteries under various operating conditions: in the cold at a temperature not exceeding $-7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, and in the heat at a temperature within $22-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. The results of the study showed an increase in the reduction of vehicle operating time by 33% of the operating time in temperature conditions of $22-24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Abstract

Introduction. The article is devoted to the study of the influence of climatic conditions on promising electric transport vehicles used in the tasks of public utilities departments, parks and recreational areas, as well as in indoor warehouses and eco-farms. **Object.** Assessment of the actual indicators of the duration of storage of the operating voltage of the battery under conditions of low temperature in comparison with an identical battery under favorable temperature conditions. Tests were carried out both with and without load. **Materials and methods.** When studying the operation of gel batteries under various conditions of use, their ability to maintain voltage and electrical capacity was tested. Comparative studies were carried out on the influence of ambient temperature on battery discharge in storage mode and under load. The objects of research were 2 traction gel batteries. **Results and conclusions.** The results of tests of gel batteries under various conditions of use are presented: in the cold at a temperature not exceeding $-7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ and in the heat at a temperature within $22-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Their ability to maintain voltage and electrical capacity was tested for compliance with the requirements of operation in electric transport. An assessment of the actual indicators of the duration of storage of the operating voltage of the battery in conditions of low temperature is given in comparison with an identical battery in favorable temperature conditions: a reduction in the operating time of the vehicle by 33% of the operating time under temperature conditions of $22-24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Key words: accumulator batteries, electric drive of vehicles, vehicles, electric transport.

Citation. Dmitriev K. S. Testing the performance of vehicle electric drive batteries. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 574-583 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-58.

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

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

УДК 62-523.8

ИСПЫТАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

К. С. Дмитриев, младший научный сотрудник

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
г. Москва, Российская Федерация*

Актуальность. Статья посвящена изучению влияния климатических условий на перспективные электротранспортные машины, применяющиеся в задачах ведомств коммунальных хозяйств, парковых и рекреационных зон, а также в закрытых помещениях складов и экоферм. **Цель.** Оценка действительных показателей продолжительности сохраняемости рабочего напряжения аккумулятора в условиях пониженной температуры в сравнении с идентичным аккумулятором при

благоприятных температурных условиях. Испытания проводились как с нагрузкой, так и без нее. **Методы.** При исследовании работы гелевых аккумуляторных батарей при различных условиях использования проверялись их способность сохранения напряжения и электроемкости. Были проведены сравнительные исследования влияния температуры окружающей среды на разряд АКБ в режиме хранения и под нагрузкой. Объектами исследований были выбраны 2 тяговых гелевых аккумулятора. **Результаты.** Приведены результаты испытаний гелевых аккумуляторных батарей при различных условиях использования: на холоде при температуре, не превышающей $-7,8^{\circ}\text{C}$ и в тепле при температуре в пределах $22-24^{\circ}\text{C}$. Проверялись их способность сохранения напряжения и электроемкости на соответствие требованиям эксплуатации в электротранспорте. Дана оценка действительных показателей продолжительности сохранения рабочего напряжения аккумулятора в условиях пониженной температуры в сравнении с идентичным аккумулятором в благоприятных температурных условиях: уменьшение времени работы транспортного средства на 33% от времени работы при температурных условиях в $22-24^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: аккумуляторные батареи, электропривод транспортных средств, транспортные средства, электротранспорт.

Цитирование. Дмитриев К. С. Испытания работоспособности аккумуляторных батарей электропривода транспортного средства. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 574-583. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-58.

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. По данным Росстата доля транспортных средств в Москве по загрязнению атмосферного воздуха достигает 85-90 % [1]. Также следует учитывать шумовую нагрузку от транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания, которая оказывает негативное воздействие на людей. В настоящее время перспективным направлением решения задачи повышения экологической безопасности в городской среде считается применение электротранспортных средств в зонах застройки, парковых и рекреационных зонах, а также в закрытых помещениях складов и экоферм. Однако работа электротранспорта в сложных климатических условиях Москвы и схожих городов может способствовать более быстрому, чем был спрогнозирован, разряду, а также повышенному износу аккумуляторных батарей и их деградации. Были проведены испытания аккумуляторных батарей, использующихся в транспортном средстве, – электрический грузовой трицикл. Данное транспортное средство применяется коммунальными службами, обслуживающим персоналом парковых зон, малыми агропредприятиями, управляющими компаниями жилищных комплексов и многими другими [2-4].

Материалы и методы. При исследовании работы гелевых АКБ при различных условиях использования проверялись их способность сохранения напряжения и электроемкости на соответствие требованиям эксплуатации в электротранспорте [5]. Были проведены сравнительные исследования влияния температуры окружающей среды на разряд АКБ в режиме хранения и под нагрузкой. Объектами исследований были выбраны 2 тяговых гелевых аккумулятора RuTrike 6-EVF-32 (таблица 1), находящихся в исправном техническом состоянии и с наработкой циклического режима разряд/заряда значительно меньшей, указанной в технической документации изделия [6].

Проведение испытаний с нагрузкой проводилось в 2 этапа, при которых на втором этапе проводилась оценка восстановления напряжения аккумуляторной батареи после кратковременного снятия нагрузки. Нагрузка осуществлялась за счет подключения установки, состоящей из двух, параллельно подключенных, галогеновых ламп накаливания мощностью по 55 Вт каждая.

Таблица 1 – Основные характеристики аккумуляторной батареи RuTrike 6-EVF-32
Table 1 – Main characteristics of the RuTrike 6-EVF-32 battery

	
RuTrike 6-EVF-32	
Назначение	Тяговый
Тип	свинцово-кислотный аккумулятор со специальным регулировочным клапаном
Рабочее напряжение, В	12
Емкость, А·ч	32
Вес, кг	10
Габариты ДхШхВ, мм	266 x 76 x 170

Режим испытаний: отслеживание показателей саморазряда через замер напряжения АКБ в морозильной установке и при “комнатной” температуре; отслеживание показателей разряда через замер АКБ в морозильной установке и при “комнатной” температуре с подключенной нагрузкой к каждому. На рисунке 1 представлены кадры испытаний АКБ под нагрузкой. Следует отметить, что мультиметр находился в морозильной камере только во время замера, что никак не могло сказаться на увеличении погрешности его работы.

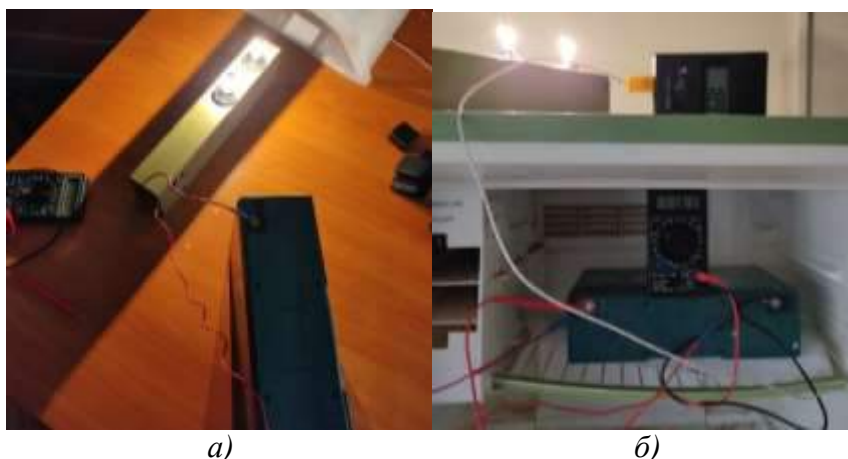


Рисунок 1 – Испытание образцов гелевых аккумуляторов под нагрузкой в разных температурных условиях

а – испытание АКБ на сохранение функциональных характеристик в “комнатных” температурных условиях; б – испытание АКБ на сохранение функциональных характеристик в лабораторной морозильной установке

Figure 1 – Testing samples of gel batteries under load in different temperature conditions

a – testing the battery for maintaining functional characteristics in “room” temperature conditions;

b – testing the battery for maintaining functional characteristics in a laboratory freezing unit

Цель испытаний: оценка действительных показателей продолжительности сохранения рабочего напряжения аккумулятора в условиях пониженной температуры в сравнении с идентичным аккумулятором при благоприятных температурных условиях. Испытания проводились как с нагрузкой, так и без нее.

Испытания проведены в соответствии с ГОСТ Р 52846-20. 07 “Батареи аккумуляторные свинцовые тяговые. Часть 1. Основные требования и методы испытаний.”

Результаты и обсуждение. Испытания проведены в лабораторных условиях с применением морозильной установки. Температура воздуха в помещении лаборатории колебалась в пределах 22 – 24 °С, температура морозильной установки: от -7,8 до -20,2 °С. Испытания аккумуляторов на саморазряд.

Оценка способности аккумуляторов держать заряд проводилась измерением напряжения мультиметром. По результатам таблицы 2 и полученных графиков саморазряда (рисунок 2) можно судить о несущественном влиянии холодных температур на аккумулятор без нагрузки. Так, за время испытания за 19 часов наблюдений разряд аккумуляторов составил: в холодильной камере $\Delta U_{\text{холод}} = 0,06$ В а аккумулятора в теплом помещении $\Delta U_{\text{тепло}} = 0,01$ В.

Таблица 2 – Испытание аккумуляторов на саморазряд в разных температурных условиях
Table 2 – Testing batteries for self-discharge under different temperature conditions

Испытания аккумуляторов на саморазряд			
Начальное напряжение АКБ: $U_{\text{холод}} = 13,07$ В; $U_{\text{тепло}} = 13,07$ В			
Время, часов	Температура холодильной камеры, °С	Напряжение, $U_{\text{холод}}$, В	Напряжение, $U_{\text{тепло}}$, В
0	-15,1	13,07	13,07
1	-16,2	13,05	13,07
2	-15,8	13,04	13,07
3	-9,5	13,03	13,07
4	-10,5	13,02	13,07
5	-15,7	12,98	13,07
6	-10,3	13,02	13,07
7	-10,5	12,97	13,07
8	-16,4	12,93	13,07
9	-16,4	13,01	13,07
10	-18,0	13,01	13,07
11	-18,4	13,01	13,07
12	-9,7	13,01	13,07
13	-10,5	12,99	13,07
14	-16,5	12,97	13,06
15	-14,3	13,01	13,06
16	-13,6	13,01	13,06
17	-15,2	13,01	13,06
18	-17,0	13,00	13,06
19	-15,5	13,01	13,06
Конечное напряжение АКБ: $U_{\text{холод}} = 13,01$ В; $U_{\text{тепло}} = 13,06$ В			

Таким образом, исходя из полученных характеристик поведения аккумуляторной батареи, хранящейся на холоде, можно сделать вывод, что недлительное хранение электротранспортных средств вне отапливаемого помещения приемлемо и никак не влияет на характеристику остаточного пробега [7]. Также следует отметить то, что после проведенных испытаний аккумулятор из морозильной установки при температуре в 20 °С показал значение напряжения в $U = 13,5$ В.

Испытания аккумуляторных батарей с нагрузкой.

Первый этап испытаний аккумуляторов с нагрузкой занял 4 часа (таблица 3). За этот период времени была произведена оценка времени разряда аккумуляторов в разных условиях. Так, аккумулятор в холодильной камере разрядился до $U_{\text{холод}} = 5,1$ В за 2 часа и 9 минут. Аккумулятор в теплом помещении разрядился до схожих $U_{\text{тепло}} = 5.04$ В за сравнимо большее время в 3 часа 1 минуту. Разряд аккумуляторов представлен графиками на рисунке 3. После снятия нагрузки для аккумулятора из холодильной камеры напряжение на момент снятия нагрузки составило: $U_{\text{холод}} = 5,1$ В, аккумулятора в теплом помещении: $U_{\text{тепло}} = 2.82$ В, время восстановления напряжения для АКБ из холодильной камеры и для АКБ из теплого помещения составило 50 минут и 55 минут соответственно.

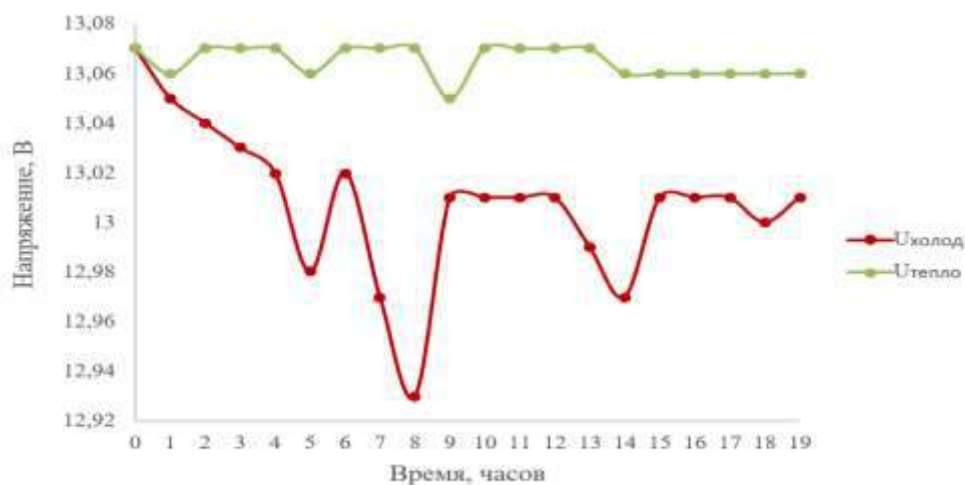


Рисунок 2 – Зависимость напряжения АКБ без нагрузки от времени

Figure 2 – Dependence of battery voltage without load on time

Таблица 3 – Испытание аккумуляторов на разряд аккумуляторов с нагрузкой в разных температурных условиях

Table 3 – Battery discharge test with load under different temperature conditions

Испытание аккумуляторов с нагрузкой			
Начальное напряжение АКБ: $U_{\text{холод}} = 13,01$ В; $U_{\text{тепло}} = 13,07$ В			
Время	Температура холодильника, С°	Напряжение, $U_{\text{холод}}$, В	Напряжение, $U_{\text{тепло}}$, В
1	2	3	4
13:29	-19,1	13,01	13,07
13:30	-19,1	11,66	12,20
14:00	-17,4	11,57	12,07
14:30	-16,0	11,44	11,95
15:00	-18,8	11,27	11,78
15:30	-14,9	5,70	11,54
15:35	-20,2	5,17	11,53
15:40	-17,0	5,10	11,52
15:45	-16,1	10,50	11,39
15:50	-17,3	11,51	11,34
15:55	-15,2	11,70	11,27
16:00	-13,5	11,73	11,20
16:05	-14,5	11,79	11,09
16:10	-13,2	11,78	10,93

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
16:15	-12,7	11,79	10,71
16:30	-14,1	11,84	5,04
16:40	-7,9	11,83	2,82
16:40	-7,9	11,83	5,80
16:55	-11,2	11,83	10,20
17:05	-14,2	11,86	11,20
17:35	-15,6	11,88	11,20
Конечное напряжение АКБ без нагрузки: Ухолод = 11,88 В; Утепло= 11,2 В			

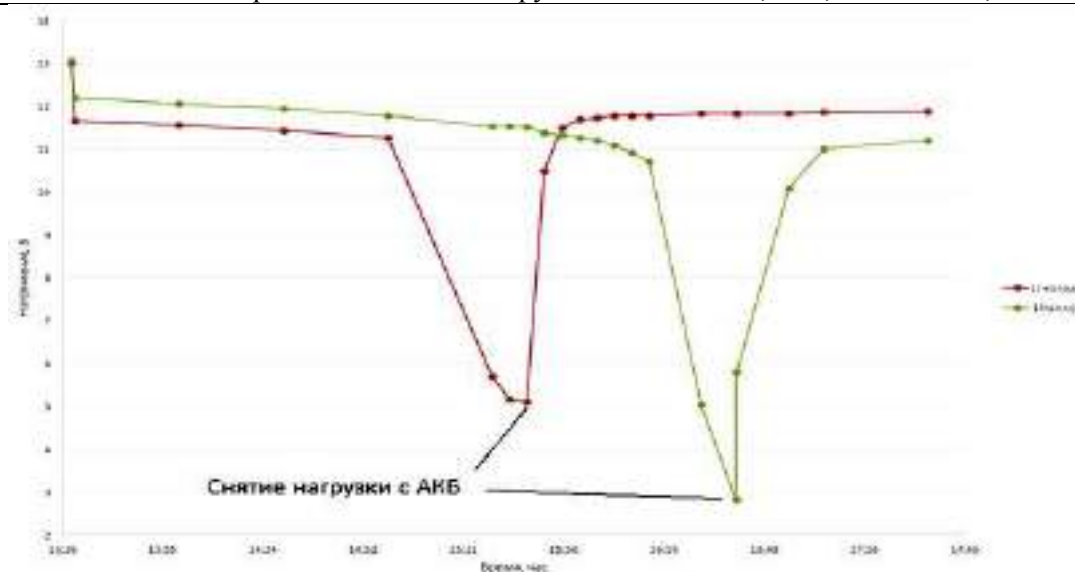


Рисунок 3 – Зависимость напряжения АКБ с нагрузкой от времени
Figure 3 – Dependence of battery voltage with load on time

Разница во времени работы составила 33%. Исходя из полученных данных можно судить о времени работы всего транспортного средства при низких температурах. Пробег транспортного средства также уменьшится кратно уменьшению возможности аккумуляторных батарей держать заряд. Полученные зависимости позволят точнее определить пробег электротранспортного средства, а также впоследствии оценить разряд аккумуляторов под различной нагрузкой, вызванной сопротивлением движению транспортного средства [8-10]. Для оценки пригодности типа аккумуляторных батарей электротранспортного средства для климата с низкими температурными показателями окружающей среды учеными из Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета была разработана методика выбора электрохимического типа аккумулятора [11]. Также вопросы деградации аккумуляторных батарей, применяющихся в агрессивных условиях внешней среды, поднимали авторы из БНТУ: создана универсальная имитационная модель для оценки деградации аккумуляторных батарей в процессе эксплуатации [12]. Сотрудники ФГБНУ ФНАЦ ВИМ работали над методиками оценки новых типов транспортных средств при работе в агропромышленном комплексе, их труды также поднимали вопросы эффективности электропривода в транспортных и тяговых средствах [13], [14].

Второй этап испытаний с нагрузкой заключался в том, что аккумуляторные батареи не были дополнительно заряжены и температура окружающей среды не изменялась с первого этапа испытаний с нагрузкой. После регистрации на каждом аккумуляторе установившихся значений напряжений (таблица 4) была снова установлена

нагрузка. Второй этап испытаний занял значительно меньшее время относительно предыдущего этапа – всего 30 минут. Так, аккумулятор в холодильной камере разрядился до $U_{\text{холод}} = 4,8 \text{ В}$ за 15 минут. Аккумулятор в теплом помещении разрядился до $U_{\text{тепло}} = 5,7 \text{ В}$ за меньшее время 11 минут. Разряд аккумуляторов представлен графиками на рисунке 4. После снятия нагрузки для аккумулятора из холодильной камеры восстановление напряжения произошло за то же время, что и время восстановления аккумулятора из теплого помещения, однако конечная разница в оставшемся напряжении и начальном для АКБ из холодильной камеры и тёплого помещения составила – 0,05 и 0,1 В соответственно.

Таблица 4 – Результаты испытаний АКБ на сохранение функциональных характеристик в разных температурных условиях, повторное проведение испытаний

Table 4 – Results of testing the battery for maintaining functional characteristics in different temperature conditions, repeated testing

Испытание аккумуляторов с нагрузкой			
Начальное напряжение АКБ: $U_{\text{холод}} = 11,87 \text{ В}$; $U_{\text{тепло}} = 11,15 \text{ В}$			
Время	Температура холодильника, $^{\circ}\text{C}$	Напряжение, Холод, В	Напряжение, Тепло, В
11:40	-13,4	11,87	11,15
11:40	-13,4	11,27	11,13
11:50	-14,3	10,26	5,98
11:51	-9,8	10,24	5,7
11:51	-9,8	10,24	7,6
11:55	-16,2	4,8	10,7
11:55	-16,2	11,33	10,7
12:00	-13,2	11,8	11,1
12:10	-12	11,83	11,05
Конечное напряжение АКБ без нагрузки: $U_{\text{холод}} = 11,83 \text{ В}$; $U_{\text{тепло}} = 11,05 \text{ В}$			

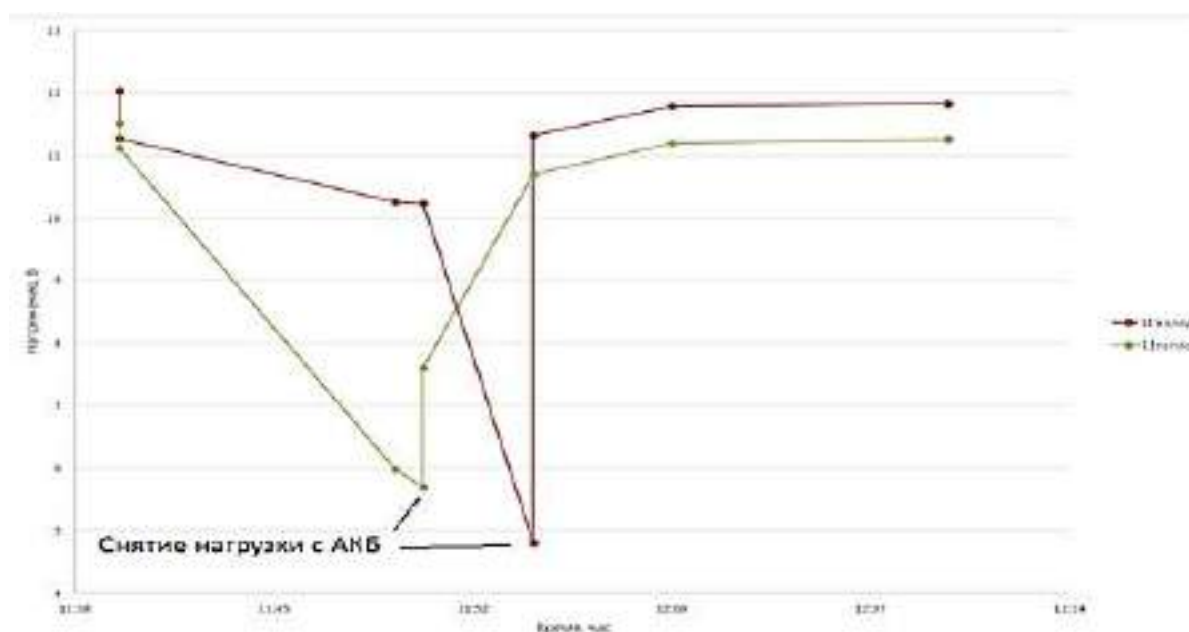


Рисунок 4 – Зависимость напряжения АКБ с нагрузкой от времени. Второй этап эксперимента

Figure 4 – Dependence of battery voltage with load on time. Second stage of the experiment

Заключение. При оценке саморазряда оба АКБ, как теплый, так и холодный, за 19 часов испытаний разрядились практически одинаково на 0,05 В (Рисунок 2). При оценке разряда АКБ под нагрузкой при одновременных замерах в морозильной камере и при комнатной температуре выяснилось, что холодный АКБ разряжается быстрее на 2-3 часа, но при снятии нагрузки быстрее регенерируется – восстанавливает уровень заряда практически до исходного – 11,9 В (Рисунок 4).

Проведенными испытаниями установлена зависимость разряда аккумулятора от температурных условий их работы. Также, исходя из полученных данных, можно поводить оценку уменьшения времени работы транспортного средства на 33% при средней температуре воздуха в -15 С°.

По полученным данным можно судить об изменении пробега электротранспортного средства на полном заряде аккумуляторных батарей. Полученные зависимости разряда АКБ относительно температуры окружающей среды позволят также строить имитационные модели работы электротранспортного средства в различных климатических условиях.

Conclusions. When assessing self-discharge, both batteries, both warm and cold, were discharged almost equally by 0.05 V during 19 hours of testing (Figure 2). When assessing battery discharge under load with simultaneous measurements in the freezer and at room temperature, it turned out that a cold battery discharges faster by 2-3 hours, but when the load is removed, it regenerates faster - restores the charge level almost to the original – 11.9 V (Figure 4).

The tests carried out have established the dependence of battery discharge on the temperature conditions of their operation. Also, based on the data obtained, it is possible to estimate a reduction in vehicle operating time by 33% at an average air temperature of -15 C°.

Based on the data obtained, one can judge the change in the mileage of an electric vehicle on a fully charged battery. The obtained dependences of the battery discharge relative to the ambient temperature will also make it possible to build simulation models of the operation of an electric vehicle in various climatic conditions.

Библиографический список

1. Владимиров С. Н. Влияние автотранспорта на показатели здоровья населения Москвы. Бюллетень науки и практики. 2016. № 5 (6).
2. Gumasing M. J. J., Araga D. C., Baez F. L. D. Sustainability Model of E-Trike Operations in the City of Manila. IEEE 6th International conference of industrial engineering and applications (ICIEA). Tokyo, 2019. Pp. 770-774.
3. Berzi L., Delogu M., Pierini M. Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. Transportation research part d-transport and environment. 2016. V. 6. Pp. 299-322.
4. Reksowardojo I. K., Arya R. R., Budiman B. A., Islameka M. Energy Management System Design for Good Delivery Electric Trike Equipped with Different Powertrain Configurations. World Electric Vehicle Journal. 2020. № 4.
5. Кочеров А. В. Курмакаев Д. Р., Сизов А. Ю. и др. Выбор типа электрохимической системы аккумулятора электромобиля LCV-сегмента. Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2018. № 2 (121).
6. Шамарова Н. А. Анализ методов оценки уровня заряда аккумуляторных батарей. Вестник КГЭУ. 2022. № 1 (53).
7. Хандорин М. М., Букреев В. Г. Методика оценки остаточной емкости литий-ионной аккумуляторной батареи при изменении температуры аккумулятора. Доклады ТУСУР. 2017. № 2.
8. Вахрушев М. А., Беляев Д. С., Генсон Е. М. Теоретическое исследование зависимости потребления электроэнергии электромобилем от внешних факторов. ТТПС. 2022. № 4 (62).
9. Тарасик В. П., Пузанова О. В. Методика определения основных параметров и характеристик электромобиля. Вестник Белорусско-Российского университета. 2020. № 4 (69).

10. Клименко В. И., Шуклинов С. Н., Леонтьев Д. Н. и др. Анализ методов определения коэффициента сопротивления качению колёс автомобиля. Автомобильный транспорт. 2020. № 46.
11. Терентьев Е. Е., Блянкинштейн И. М. Методика выбора типа аккумулятора для эксплуатации электромобилей в регионах с холодным климатом. Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 1.
12. Доброго К. В., Бладыко Ю. В. Моделирование аккумуляторных батарей и их сборок с учетом деградации параметров. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021. № 1.
13. Лобачевский Я. П. и др. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2023. № 4 (310). С. 2-5.
14. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021 № 4. С. 6-10.

References

1. Vladimirov S. N. The influence of motor vehicles on the health indicators of the population of Moscow. Bulletin of Science and Practice. 2016. № 5 (6).
2. Gumasing M. J. J., Araga D. C., Baez F. L. D. Sustainability Model of E-Trike Operations in the City of Manila. IEEE 6th International conference of industrial engineering and applications (ICIEA). Tokyo, 2019. Pp. 770-774.
3. Berzi L., Delogu M., Pierini M. Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. Transportation research part d-transport and environment. 2016. V. 6. Pp. 299-322.
4. Reksowardojo I. K., Arya R. R., Budiman B. A., Islameka M. Energy Management System Design for Good Delivery Electric Trike Equipped with Different Powertrain Configurations. World Electric Vehicle Journal. 2020. № 4.
5. Kocherov A. V. Kurmaev D. R., Sizov A. Yu., etc. Choice of the type of electrochemical battery system of the LCV-segment electric vehicle. Works of NSTU named after R.E. Alekseeva. 2018. № 2 (121).
6. Shamarova N. A. Analysis of methods for assessing battery charge level. Bulletin of KGEU. 2022. № 1 (53).
7. Handorin M. M., Bukreev V. G. Methodology for Assessing the Residual Capacity of a Lithium-Ion Battery when the Battery Temperature Changes. TUSUR reports. 2017. № 2.
8. Vakhrushev M. A., Belyaev D. S., Genson E. M. Theoretical study of the dependence of electric vehicle electricity consumption on external factors. TTPS. 2022. № 4 (62).
9. Tarasik V. P., Puzanova O. V. Methodology for determining the main parameters and characteristics of an electric car. Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2020. № 4 (69).
10. Klimenko V. I., Shuklinov S. N., Leontyev D. N., etc. Analysis of methods for determining the rolling resistance coefficient of car wheels. Road transport. 2020. № 46.
11. Terentyev E. E., Blyankinstein I. M. Methodology for choosing the type of battery for the operation of electric vehicles in regions with a cold climate. Intelligence. Innovation. Investments. 2023. № 1.
12. Dobrego K. V., Bladyko Yu. V. Modeling of batteries and their assemblies taking into account parameter degradation. Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. 2021. № 1.
13. Lobachevsky Ya. P. et al. 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.
14. Lobachevsky Ya. P., Dorokhov A. S. Digital technologies and robotic technical means for agriculture. Agricultural machinery and technology. 2021 № 4. Pp. 6-10.

Информация об авторах

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

Author's Information

Dmitriev Kirill Sergeevich, Junior researcher at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: kir0597@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-59

FIELD STUDIES OF THE SUPPORTING PERFORMANCE OF AN EXPERIMENTAL VEHICLE ON DRY BULK SAND

A. S. Myasnikov¹, S. D. Fomin²

¹*Volgograd Gazprom College named after. I. A. Matlashov*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: fsd_58@mail.ru

Received 10.09.2023

Submitted 30.11.2023

Abstract

Introduction. Self-propelled machinery plays an important role in agriculture, in particular crop production. Each stage of the technological cycle for cultivating agricultural crops is associated with the operation of general-purpose (tractor, transport vehicles) and special-purpose equipment, which in field conditions move across agricultural lands and dirt roads of various conditions. The ability of equipment to operate in field conditions is determined by the bearing capacity of the supporting surface and the terrain, and their greatest impact affects the operation of transport equipment, the main mission of which is the timely and high-quality transportation of agricultural goods. One of the important conditions for the movement of transport equipment during field work is the condition of dirt roads and their bearing capacity. One of the most difficult bases for the supporting surface for the movement of automobile cargo vehicles is dry bulk sand, when moving along which, significant slipping of the loaded vehicle occurs or it gets completely stuck and further movement without external force becomes impossible. In turn, the use of additional units of equipment to pull out a stuck vehicle entails temporary losses, which reduces the quality of the transported cargo, as well as disrupts logistics chains and generally reduces the efficiency of the enterprise.

One of the possible directions for solving this problem is the development and use of motor vehicles with a combined mode of movement – rolling and walking, which allows, when driving on dirt roads with sufficient load-bearing capacity, to move by rolling, and in areas where it is not enough to switch to an alternative mode – walking functionally providing self-pulling. For the study, an experimental vehicle was designed and technically implemented with the ability to choose a method of movement – rolling or stepping. **Object.** The object of the study is the support patency of an experimental vehicle on dry bulk sand. **Materials and methods.** The reference cross-country ability of an experimental vehicle on dry bulk sand was determined in the field by studying parameters – the amount of current consumed by the engines, the distance traveled, the depth of the rut, the degree of soil compaction. The parameters of the supporting cross-country ability on dry bulk sand were determined and a comparative analysis was made without using the originality of the technical solutions included in the design of the experimental vehicle, and with their use. **Results and conclusions.** An analysis of the results of field tests of an experimental vehicle on a base of dry bulk sand showed that: the maximum load during rolling movement is less than 350 N, after which complete slipping occurs and the vehicle gets stuck, in contrast to walking movement, which provides translational movement and is performed up to a load of 500 N, the limitation of which is determined only by the strength indicators of structural assemblies; the peak current consumption of the propulsion motors at a load of 350 N is 0.132 A, while when moving by walking and a load of 500 N it is 0.130 A; the maximum rut depth when mov-

ing by rolling and a load of 350 N is 2.2 times higher than when moving by walking, and when moving by a load of 500 N it is 0.7 cm less when moving by walking compared to a rolling movement and a load of 350 N; with increasing load, the degree of soil compaction increases and at a load of 350 N it is 1.029 when moving by rolling, and when moving by walking – 1.003. In turn, with a load of 500 N and movement by walking, the degree of soil is 1.015, which is 1.14% less than with a load of 350 N and the method of rolling movement.

Key words: *experimental vehicles, rolling motion, walking motion, support flotation, dry bulk sand.*

Citation. Myasnikov A. S., Fomin S. D. Field studies of the supporting performance of an experimental vehicle on dry bulk sand. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 583-595 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-59.

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

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

УДК631.37

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОРНОЙ ПРОХОДИМОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА СУХОМ СЫПУЧЕМ ПЕСКЕ

А. С. Мясников¹, преподаватель

С. Д. Фомин², доктор технических наук, профессор

¹ЧПОУ «Газпром колледж Волгоград им. И. А. Матлашова»

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Самоходная техника играет важную роль в сфере сельского хозяйства, в частности в растениеводстве. Каждый этап технологического цикла возделывания сельскохозяйственных культур связан с работой техники общего (трактор, транспортные машины) и специального назначения, которые в полевых условиях передвигаются по землям сельскохозяйственного назначения и грунтовым дорогам различного состояния. На возможность работы техники в полевых условиях определяющее влияние оказывают несущая способность опорной поверхности и рельеф местности, причем их наибольшее воздействие сказывается на работе транспортной техники, главная миссия которой заключается в своевременной и качественной перевозке сельскохозяйственных грузов. Одним из важных условий для передвижения транспортной техники при проведении полевых работ является состояние грунтовых дорог и их несущая способность. Одним из наиболее сложных оснований опорной поверхности для передвижения автомобильной грузовой техники является сухой сыпучий песок, при передвижении по которому возникает значительное буксование груженого автомобиля или он вовсе застревает, и дальнейшее передвижение без постороннего внешнего силового воздействия становится невозможным. В свою очередь, задействование дополнительных единиц техники для вытаскивания застрявшего транспортного средства влечет за собой временные потери, что снижает качество перевозимого груза, а также нарушает логистические цепочки и в целом снижает эффективность работы предприятия.

Одним из возможных направлений решения поставленной проблемы является разработка и применение автомобильных транспортных средств с комбинированным способом передвижения – качением и шаганием, позволяющими при движении по грунтовым дорогам с достаточной несущей способностью двигаться способом качения, а на участках, где ее недостаточно, переходить на альтернативный режим движения шаганием, функционально обеспечивающим самовытаскивание. Для исследования сконструировано и технически реализовано экспериментальное транспортное средство с возможностью выбора способа передвижения – качением или шаганием.

Объект. Объектом исследования является опорная проходимость экспериментального транс-

портного средства на сухом сыпучем песке. **Материалы и методы.** Опорная проходимость на сухом сыпучем песке экспериментального транспортного средства определена в полевых условиях при исследовании параметров – величина потребляемого двигателями тока, пройденный путь, глубина колеи, степень уплотнения грунта. Параметры опорной проходимости на сухом сыпучем песке определены, и сделан сравнительный анализ без использования оригинальности технических решений, заложенных в конструкцию экспериментального транспортного средства, и с их использованием. **Результаты и выводы.** Анализ результатов полевых испытаний экспериментального транспортного средства по основанию сухой сыпучий песок показал, что максимальная нагрузка при передвижении качением составляет менее 350 Н, после чего наступает полное буксование и транспортное средство застревает, в отличие от движения шаганием, которое обеспечивает поступательное перемещение и выполняется до нагрузки 500 Н, ограничение которой обусловлено только показателями прочности конструктивных сборочных узлов; пиковое потребление тока электродвигателями движителей при нагрузке 350 Н составляет 0,132 А, тогда как при движении шаганием и нагрузке 500 Н – 0,130 А; максимальная глубина колеи при передвижении качением и нагрузке 350 Н в 2,2 раза выше, чем при движении шаганием, а при нагрузке 500 Н меньше на 0,7 см при передвижении шаганием по сравнению с движением качения и нагрузке 350 Н; при увеличении нагрузки степень уплотнения грунта возрастает и при нагрузке 350 Н составляет 1,029 при движении качением, а шаганием – 1,003. В свою очередь, при нагрузке 500 Н и передвижении шаганием степень грунта составляет 1,015, что в 1,14% меньше, чем нагрузке 350 Н и способе движения качением.

Ключевые слова: экспериментальные транспортные средства, движение качения, движение шагания, опорная проходимость, сухой сыпучий песок.

Цитирование. Мясников А. С., Фомин С. Д. Полевые исследования опорной проходимости экспериментального транспортного средства на сухом сыпучем песке. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 583-595. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-59.

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. Разработка и использование в сельском хозяйстве специализированной автомобильной грузовой техники, ориентированной для выполнения транспортных работ, в условиях пересеченного рельефа местности, низкой несущей способности опорной поверхности, а зачастую и полного бездорожья является актуальной задачей для автомобильной машиностроительной отрасли страны [9]. Работа в тяжелых полевых условиях предъявляет высокие технические требования к грузовой автомобильной технике включая показатели опорной проходимости. Передвижение автомобильной грузовой техники в полевых условиях зависит от ряда факторов, одним из которых является тип грунта основания опорной поверхности, среди которых одним из наиболее сложных является сухой сыпучий песок [4].

Трудности передвижения автомобильного грузового транспорта по основанию сухой сыпучий песок связаны с его низкой несущей способностью, что приводит к повышенному буксованию и зачастую к застреванию техники, которой выбраться без внешнего силового воздействия затруднительно или вовсе невозможно. Одним из направлений решения поставленной проблемы является расширение функциональных возможностей транспортных средств путем технической реализации к уже имеющемуся способу передвижения качением, дополнительно – движение шаганием, использование которого предусматривается в случаях, когда несущей способности и сцепных свойств опорной поверхности недостаточно, чтобы передвигаться способом качения [1-3, 6-8, 14, 15].

Для исследования автомобильных грузовых средств с комбинированным способом передвижения сконструировано экспериментальное транспортное средство, работа которого осуществляется следующим образом [10, 11]:

- центр тяжести посредством механизма продольного перемещения кузова и кабины 8 кузов 13 и кабина 12 смещаются между движителями 4 подвижных частей 2, 3, занимая среднее положение и разгружая движители части 1 от собственно массы транспортного средства и перевозимого им груза;

- за счет механизмов перемещения каждого из движителей в вертикальной плоскости 7 движители 4 подвижной части 1 отрываются от опорной поверхности, далее за счет работы механизма ее продольного перемещения 6 смещаются вперед на расстояние, ограниченное технически возможной величиной механизма 6;

- затем механизмы перемещения каждого из движителей 4 в вертикальной плоскости 7 опускают на опорную поверхность движители 4 подвижной части 1;

- передвижение движителей подвижных частей 2 и 3 выполняется аналогично, причем центр тяжести транспортного средства всегда должен располагаться между движителями, подвижные части которых находятся в покое относительно рамы 5;

- перемещение оставшихся частей транспортного средства – рамы 5, кузова 13 и кабины 12 выполняется за счет одновременной работы механизмов продольного перемещения 6 частей 1 – 3 и механизма продольного перемещения кузова и кабины 8;

- далее цикл повторяется.

При передвижении по опорной поверхности способ и скорость передвижения может изменяться и выбирается при ручном управлении оператором-водителем, при роботизированном – сигналами от датчиков в зависимости от характера и качества поверхности движения.

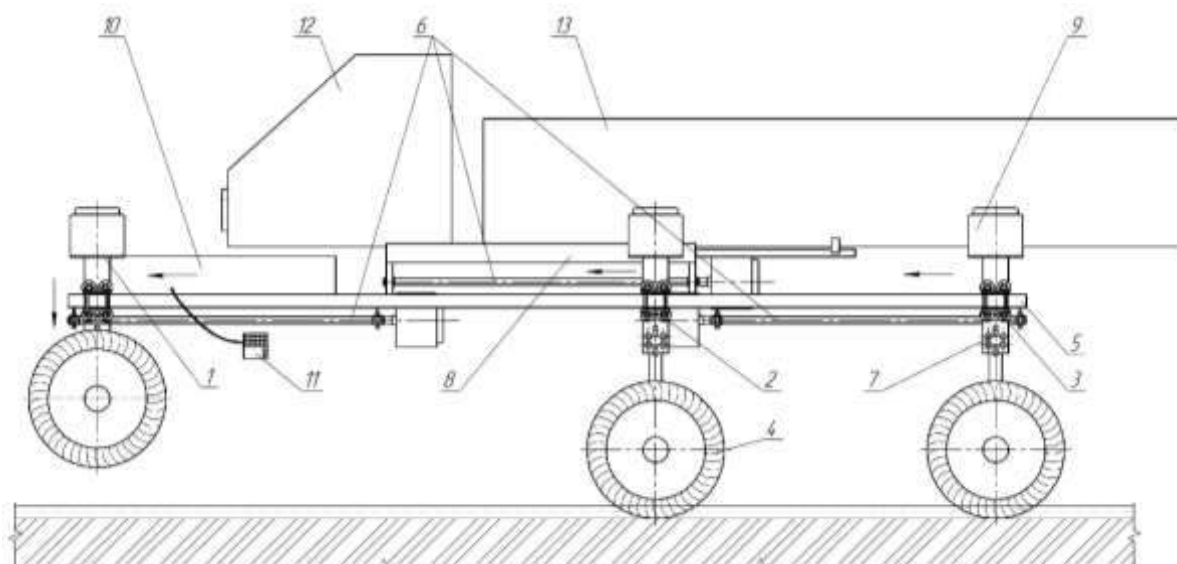


Рисунок 1 – Схема дискретного передвижения транспортного средства с отрывом движителей от опорной поверхности

Figure 1 – Scheme of discrete movement of a vehicle with separation of the propellers from the supporting surface

Материалы и методы. Для исследования передвижения экспериментального транспортного средства по основанию сухой сыпучий песок был подготовлен зачетный участок длиной 3 м, шириной 2 м, глубиной 0,12 м с относительной влажностью по-

верхностного слоя до 4% (ГОСТ РВ 52048-2003. Автомобили многоцелевого назначения. Параметры проходимости и методы их определения. – М.: Госстандарт России, 2003) [12].



Рисунок 2 – Общий вид проведения полевых испытаний экспериментального транспортного средства при передвижении по основанию сухой сыпучий песок

Figure 2 – General view of field testing of an experimental vehicle when moving on a base of dry bulk sand

Изначальная загрузка экспериментального транспортного средства составляет 250 Н, максимальная не превышает 500 Н, что обусловлено заложенными прочностными характеристиками в конструкции его сборочных узлов.

В качестве параметров для исследования опорной проходимости экспериментального транспортного средства на основании сухой сыпучий песок измерялись следующие показатели: потребляемый ток электродвигателями, установленными на движителях (D_1 - D_6) и механизмах продольного перемещения вдоль рамы подвижных частей (D_{13} - D_{15}); масса груза, укладываемого в кузов экспериментального транспортного средства; пройденный путь; глубина колеи; степень уплотнения грунта до и после прохода экспериментального транспортного средства [12].

Результаты и обсуждение. Результаты исследований передвижения экспериментального транспортного средства способом качения представлены на рисунках 3, 5, 7 [5].

При исследовании передвижения способом качения было определено, что при увеличении нагрузки величина потребления тока электродвигателями движителей увеличивается и изменяется в диапазоне от 0,13 А при 250 Н до 0,132 при 350 Н (рисунок 3, 4). При нагрузке 250 Н и 300 Н идет равномерное потребление тока двигателями движителей D_1 - D_6 , а при нагрузке 350 Н движители, установленные по разные стороны бортов D_1 , D_3 , D_5 и D_2 , D_4 , D_6 , потребляют на 0,001 А разное количество тока, что объясняется незначительной неравномерностью распределения нагрузки в кузове и сцеплением движителей с опорной поверхностью.

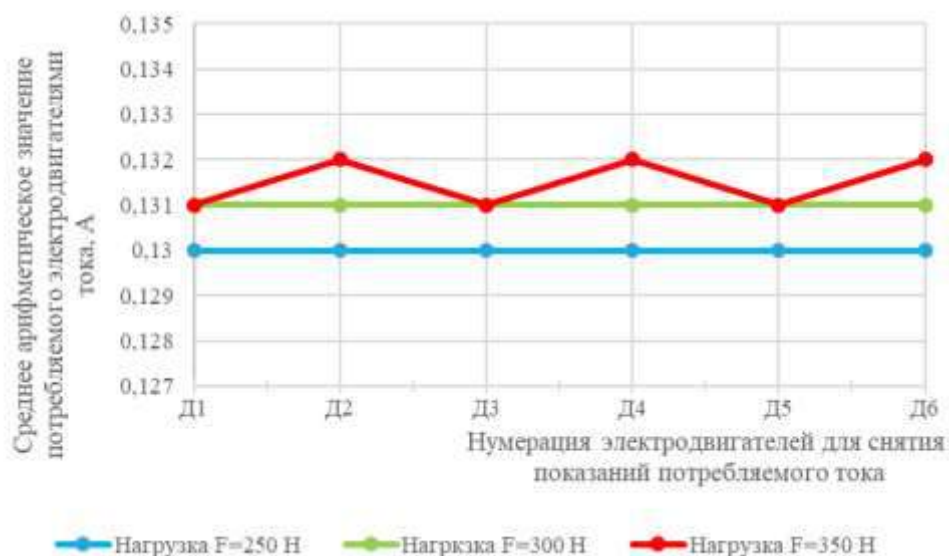


Рисунок 3 – Исследование потребления электродвигателями Д₁-Д₆ тока в зависимости от нагрузки экспериментального транспортного средства при передвижении способом качения по основанию сухой сыпучий песок

Figure 3 – Study of current consumption by electric motors D1-D6 depending on the load of the experimental vehicle when moving by rolling on a base of dry bulk sand



Рисунок 4 – Фрагмент передвижения способом качения экспериментального транспортного средства по основанию сухой сыпучий песок

Figure 4 – Fragment of movement by rolling an experimental vehicle on a base of dry bulk sand

При передвижении по основанию сухой сыпучий песок методом качения глубина колеи и степень уплотнения грунта изменяются при нагрузке от 250 Н до 350 Н соответственно от 1,6 см, 1,009 и до 2,2 см, 1,029 (рисунок 5, 6). Характер изменения зависимости носит прямолинейный характер [13].

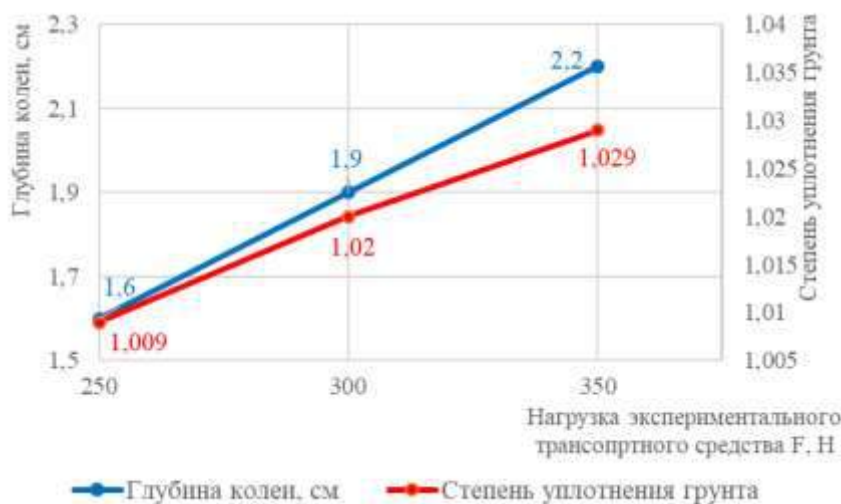


Рисунок 5 – Исследование изменения глубины колеи и степени уплотнения грунта в зависимости от нагрузки экспериментального транспортного средства при передвижении способом качения по основанию сухой сыпучий песок
Figure 5 – Study of changes in rut depth and degree of soil compaction depending on the load of an experimental vehicle when moving by rolling on a base of dry bulk sand



Рисунок 6 – Фрагмент определения глубины колеи при передвижении способом качения экспериментального транспортного средства по основанию сухой сыпучий песок
Figure 6 – Fragment of determining the rut depth when moving by rolling an experimental vehicle on a base of dry bulk sand

В ходе полевых исследований в контрольные моменты снятия показаний определено, что при увеличении нагрузки передвижение экспериментального транспортного средства методом качения по сухому сыпучему песку становится затруднительным вследствие повышения степени буксования и при нагрузке 350 Н движители переходят в стадию полного буксования, при котором самостоятельное поступательное движение выбранным способом передвижения становится невозможным (рисунок 7). В случаях если нагрузки меньше 350 Н экспериментальное транспортное средство поступательно движется вперед с различной степенью буксования и преодолевает сложные участки.

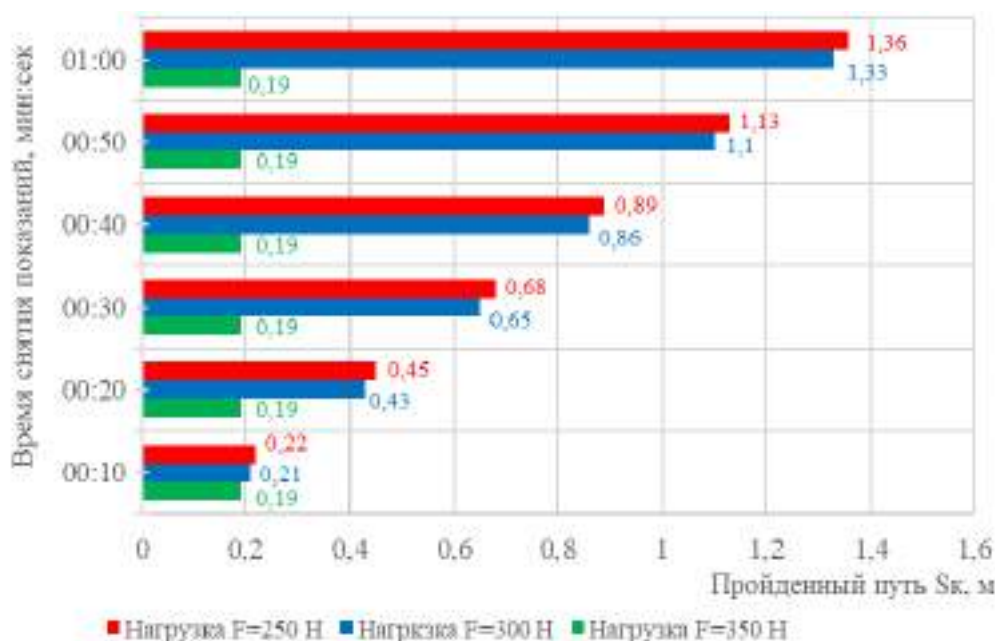


Рисунок 7 – Исследование изменения пройденного пути в контрольные моменты времени в зависимости от нагрузки экспериментального транспортного средства при передвижении способом качения по основанию сухой сыпучий песок

Figure 7 – Study of changes in the distance traveled at control points in time depending on the load of the experimental vehicle when moving by rolling on a base of dry bulk sand

Проведенные полевые исследования показали, что при передвижении экспериментального транспортного средства методом качения по основанию сухой сыпучий песок максимальная нагрузка возможная до возникновения застревания составляет относительно максимально заложенной с точки зрения прочностных показателей 70%, при которой степень потребления тока двигателями движителей составляет 0,132 А, а глубина колеи и степень уплотнения грунта соответственно 2,2 см и 1,029. Использование транспортных средств, передвигающихся по опорной поверхности с включением участков с сухим сыпучим песком, снижает допускаемую степень его нагрузки, и, как следствие, эффективность работы транспортной техники в целом в сельскохозяйственной отрасли. Наличие технической возможности перехода на другой способ передвижения экспериментального транспортного средства с целью обеспечения самовытаскивания является его неоспоримым преимуществом относительно техники передвигающейся только традиционным способом – качением.

Результаты полевых испытаний показали, что передвижение способом шагания по основанию сухой сыпучий песок позволяет экспериментальному транспортному средству двигаться с нагрузкой 500 Н, ограничение по которой обусловлены только прочностными показателями его конструктивных узлов. Движение при этом происходит циклично на размер «шага» равный 0,4 м и ограниченный конструктивным исполнением механизмов продольного перемещения подвижных частей вдоль рамы транспортного средства.

Поступательное передвижение экспериментального транспортного средства осуществляется за счет работы электродвигателей подвижных частей 1-3, потребление тока которых увеличивается при изменении нагрузки и колеблется в интервале от 0,127 А до 0,13 А при нагрузках соответственно 350 Н и 500 Н. Потребление тока между электродвигателями при постоянной нагрузке распределено равномерно (рисунок 8).

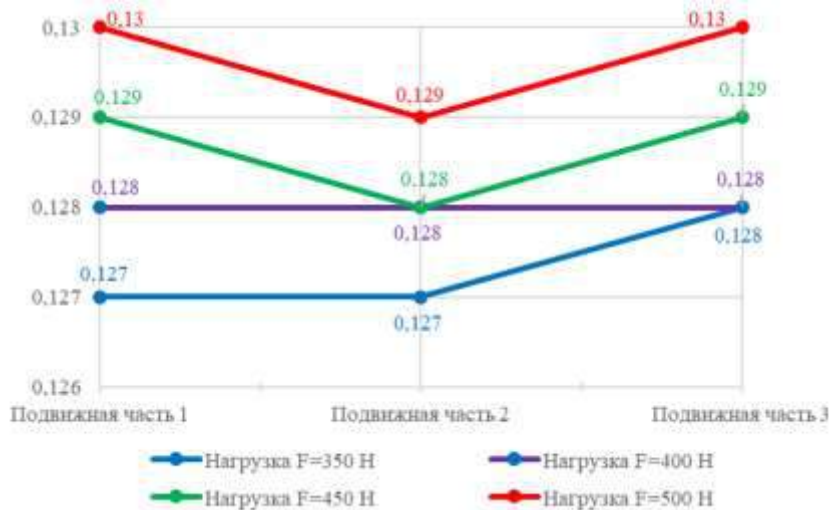


Рисунок 8 – Исследование потребления электродвигателями подвижных частей 1-3 тока в зависимости от нагрузки экспериментального транспортного средства при передвижении способом шагания по основанию сухой сыпучий песок

Figure 8 – Study of the consumption of 1-3 current by electric motors of moving parts depending on the load of the experimental vehicle when moving by walking on a base of dry bulk sand

Анализ результатов полевых испытаний показал, что глубина колеи при увеличении нагрузки возрастает от 1 см при 350 Н до 1,5 см при 500 Н, при этом характер изменения носит прямолинейный характер (рисунок 9).

Степень уплотнения грунта линейно увеличивается от 1,003 до 1,015 при возрастании нагрузки от 350 Н до 450 Н. При нагрузке 500 Н степень уплотнения песка эквивалентна показателю при нагрузке 450 Н, что объясняется наступлением степени максимального уплотнения сухого сыпучего песка вследствие низких показателей его пористости (рисунок 9, 10) [13].

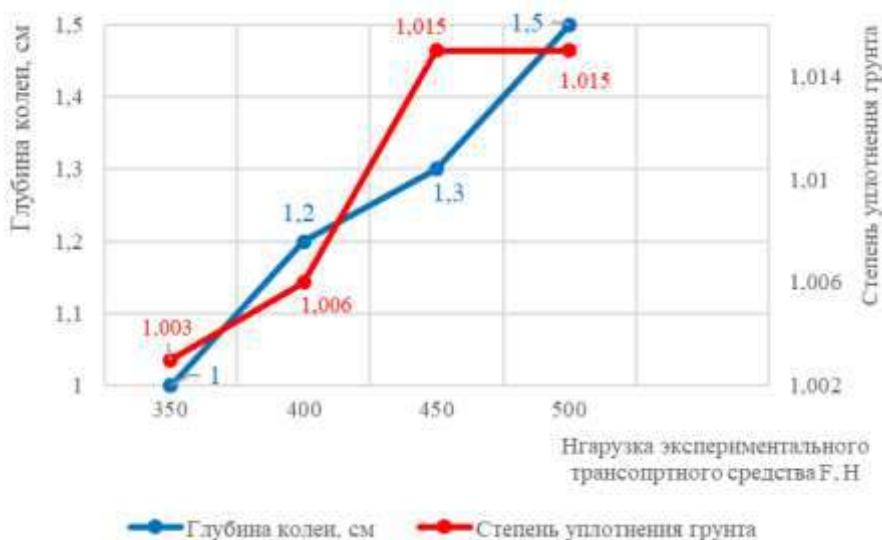


Рисунок 9 – Исследование изменения глубины колеи и степени уплотнения грунта в зависимости от нагрузки экспериментального транспортного средства при передвижении способом шагания по основанию сухой сыпучий песок

Figure 9 – Study of changes in rut depth and degree of soil compaction depending on the load of an experimental vehicle when moving by walking on a base of dry bulk sand



Рисунок 10 – Фрагмент определения степени уплотнения грунта при передвижении способом шагания экспериментального транспортного средства по основанию сухой сыпучий песок
Figure 10 – Fragment of determining the degree of soil compaction when moving by walking an experimental vehicle on a base of dry bulk sand

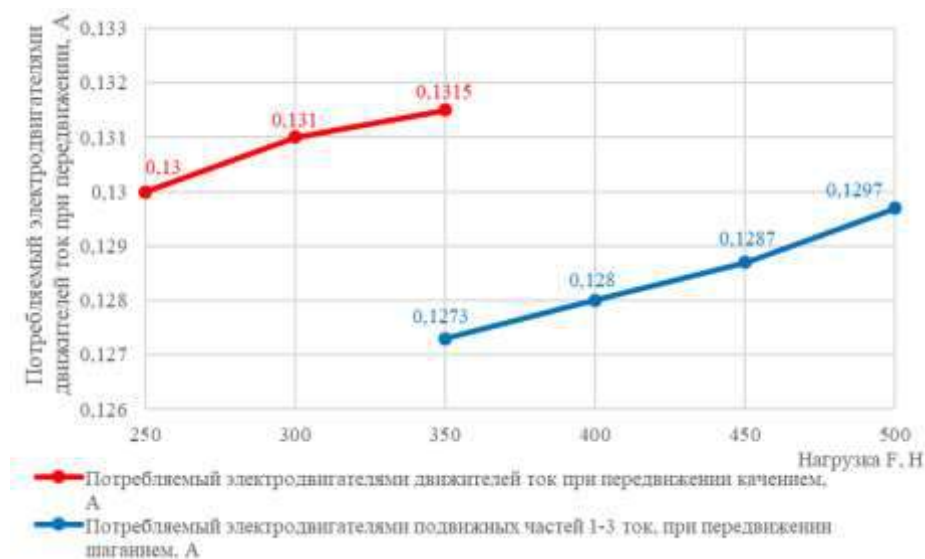


Рисунок 11 – Сравнительный анализ потребления электродвигателями экспериментального транспортного средства тока при передвижении способами качения и шагания по основанию сухой сыпучий песок
Figure 11 – Comparative analysis of consumption by electric motors experimental current vehicle when moving by rolling and walking on a base of dry bulk sand

Анализ результатов полевых испытаний экспериментального транспортного средства по основанию сухой сыпучий песок показал, что:

- максимальная нагрузка при передвижении качением составляет менее 350 Н, после чего наступает полное буксование и транспортное средство застревает, в отличие от движения шаганием, которое обеспечивает поступательное перемещение и выполняется до нагрузки 500 Н, ограничение которой обусловлено только показателями прочности конструктивных сборочных узлов;

- пиковое потребление тока электродвигателями движителей в момент застревания транспортного средства при передвижении качением (нагрузка 350 Н) составляет 0,132 А, тогда как при движении шаганием (нагрузка 500 Н) – 0,130 А (рисунок 11);

- максимальная глубина колеи при передвижении качением и нагрузке 350 Н в 2,2 раза выше, чем при движении шаганием, а при нагрузке 500 Н меньше на 0,7 см при передвижении шаганием по сравнению с движением качения и нагрузке 350 Н;

- при увеличении нагрузки степень уплотнения грунта возрастает и при нагрузке 350 Н составляет 1,029 при движении качением, а шаганием – 1,003. В свою очередь, при нагрузке 500 Н и передвижении шаганием степень грунта составляет 1,015, что в 1,14% меньше, чем нагрузке 350 Н и способе движения качением.

Закключение. Результаты испытаний показали, что комбинированный способ передвижения, заложенный в конструкцию, и возможность его выбора позволяют использовать экспериментальное транспортное средство при транспортировке грузов к местам проведения полевых работ и обратно на грунтовых дорогах с основанием опорной поверхности из любых типов грунтов, включая сухой сыпучий песок, что, в свою очередь, повышает мобильность и эффективность транспортной техники в отрасли.

Conclusions. The results of the tests showed that the combined method of movement embedded in the structure and the possibility of its choice allow the use of an experimental vehicle when transporting goods to and from field sites on dirt roads with the base of a supporting surface of any type of soil, including dry bulk sand, which in turn increases the mobility and efficiency of transport equipment in the industry.

Библиографический список

1. Барахтанов Л. В., Беляков В. В., Галкин Д. А., Зайцев А. С., Зезюлин Д. В., Макаров В. С. Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. А. Алексеева. 2012. № 3 (96).
2. Беляев А. М., Васильев А. А., Жарков Е. В., Макаров В. С., Беляков В. В. Исследование движения шасси мобильного робототехнического комплекса с гусенично-модульным движителем по песчаному опорному основанию. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. А. Алексеева. 2020. № 2 (129).
3. Бруданов А. М. Обзор существующих конструкций для повышения проходимости автомобиля категории М1. Молодой ученый. 2016. № 12. С. 216-220.
4. Верещагин Н. И., Кокорев Г. Д., Колупаев С. В., Шафоростов В. А., Колотов А. С., Уткин А. А., Гусаров С. Н. Современная техника для АПК и перспективы ее модернизации. Научный журнал КубГАУ. 2016. № 120 (06).
5. Макаричев Ю. А., Иванников Ю. Н. Методы планирования эксперимента и обработки данных. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 131 с.
6. 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. Том III. С. 451-457.
7. Мясников А. С., Фомин С. Д. Повышение профильной проходимости транспортных средств для перевозки грузов в сельском хозяйстве. Известия НВ АУК. 2022. 4 (68).
8. 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.
9. Пехутов А. С. Технологический процесс перевозок грузов в сельском хозяйстве и его показатели. Вестник КрасГАУ. 2008. Вып. 3. С. 258–264.
10. Мясников А. С., Фомин С. Д., Ярунов А. А. Полевые исследования профильной проходимости экспериментального транспортного средства для перевозки грузов в сельском хозяйстве. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 635-652.

11. Фомин С. Д., Мясников А. С. Полевые исследования опорной проходимости экспериментального транспортного средства на влажном вспаханном грунте. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 469-482.

12. Прядкин В. И. Оценка опорно-цепной проходимости средств химизации по почвам с низкой несущей способностью. Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 5. С. 15-18.

13. Пьянков С. А., Азизов З. К. Механика грунтов: методические указания к лабораторным работам. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 31 с.

14. Belyaev A. M., Belyakov V. V., Makarov V. S. Study of efficiency of a 6x6 all-terrain vehicle in coastal zone. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709 (4).

15. Belyaev A. M., Makarov V. S. Method of assessment of special wheel chassis mobility in cases of sand-gravel bases crossing. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. 194 (2).

References

1. Barakhtanov L. V., Belyakov V. V., Galkin D. A., Zaitsev A. S., Zezyulin D. V., Makarov V. S. Experimental and theoretical studies of the reference cross-country ability of multi-axle wheeled vehicles. Proceedings of Nizhny Novgorod State Technical University named after R. A. Alekseev. 2012. № 3 (96).

2. Belyaev A. M., Vasiliev A. A., Zharkov E. V., Makarov V. S., Belyakov V. V. Study of the movement of the chassis of a mobile robotic complex with a tracked-modular propulsor along a sandy support base. Proceedings of Nizhny Novgorod State Technical University named after R. A. Alekseev. 2020. № 2 (129).

3. Brudanov A. M. Overview of existing structures to increase the cross-country ability of a M1 category car. Young scientist. 2016. № 12. Pp. 216-220.

4. Vereshchagin N. I., Kokorev G. D., Kolupaev S. V., Shaforostov V. A., Kolotov A. S., Utkin A. A., Gusarov S. N. Modern technology for the agro-industrial complex and prospects for its modernization. Scientific journal KubGAU. 2016. № 120 (06).

5. Makarichev Yu. A., Ivannikov Yu. N. Methods of experiment planning and data processing. Samara: Samar. State technical university, 2016. 131 p.

6. Myasnikov A. S., Fomin S. D. Increasing the cross-country ability of machine-tractor units based on optimization of methods of movement. 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: mat. nat. scientific-practical. conf. Volgograd, 2021. V. III. Pp. 451-457.

7. Myasnikov A. S., Fomin S. D. Increasing the profile cross-country ability of vehicles for the transportation of goods in agriculture. Izvestia NV AUK. 2022. 4 (68).

8. Myasnikov A. S., Fomin S. D. Numerical modeling and analysis of the stressed-deformed state of structural parts and assembly units of an experimental vehicle with a combined method of movement for the agro-industrial complex. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 1 (69). Pp. 575-587.

9. Pekhutov A. S. Technological process of cargo transportation in agriculture and its indicators. Vestnik KrasGAU. 2008. No. 3. Pp. 258-264.

10. Myasnikov A. S., Fomin S. D., Yarinov A. A. Field studies of the profile cross-country ability of an experimental vehicle for the transportation of goods in agriculture. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 3 (71). Pp. 635-652.

11. Fomin S. D., Myasnikov A. S. Field studies of the reference patency of an experimental vehicle on wet plowed soil. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 3 (71). Pp. 469-482.

12. Pryadkin V. I. Assessment of the supporting and coupling cross-country ability of chemical means for soils with low bearing capacity. Tractors and agricultural machinery. 2013. № 5. Pp. 15-18.

13. Pyankov S. A., Azizov Z. K. Soil mechanics: methodological instructions for laboratory work. Ulyanovsk: UISTU, 2003. 31 p.

14. Belyaev A. M., Belyakov V. V., Makarov V. S. Study of efficiency of a 6x6 all-terrain vehicle in coastal zone. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709 (4).

15. Belyaev A. M., Makarov V. S. Method of assessment of special wheel chassis mobility in cases of sand-gravel bases crossing. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. 194 (2).

Информация об авторах

Мясников Алексей Сергеевич, преподаватель, ЧПОУ «Газпром колледж Волгоград им. И. А. Матлашова» (Российская Федерация, 400011, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 71), e-mail: Alexey1987M@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры "Механика", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Author's Information

Myasnikov Aleksey Sergeevich, lecturer at Volgograd Gazprom College named after I. A. Matlashov (Russian Federation, 400011, Volgograd, Universitetskiy prospekt, 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, Universitetskiy prospekt, 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-60

OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF A CABBAGE HARVESTING MACHINE WITH AN INERTIAL ROTARY CUTTING MACHINE

A. V. Tseplyaev

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ceplyaev_aleksey@mail.ru

Received 15.09.2023

Submitted 07.11.2023

Abstract

Introduction. White cabbage is of great importance in the national economy. It is used as one of the important products in human nutrition, as a feed component in animal husbandry, and is also of interest to medicine. As a product included in the human diet, it is used both fresh and in various versions after processing. Cabbage, a one-of-a-kind culture that ferments well, is stored for a long time and can serve as the main ingredient for preparing various salads. When cultivating white cabbage, the main part of the costs from the entire technological process (up to 30%) falls on cleaning. In farms, on small areas (20-25 hectares), cabbage harvesting is carried out manually. It usually consists of several operations: cutting cabbage forks and loading into a vehicle for shipment to a sorting point; cutting cabbage forks and loading into a vehicle and transporting to the edge of the harvested field. Further, for both technologies, the leaf part of the fork is manually cut off and packed into grids or containers. For larger farms where the area is much higher, various combines are used. According to their device, their picking part is equipped with lifters or rotating cones for pulling out cabbage and knives for pruning a poker with a rhizome. We offer an inertial rotary type cutting machine for pruning heads with a vertically rotating knife. To find its kinematic parameters, a multifactorial experiment was developed and implemented experimentally. According to its results, optimal values of the main factors are recommended. **Object.** The technological process of harvesting cabbage with the use of a combine harvester with an inertial rotary cutting machine equipped with a vertical rotary knife was considered as an object of research. **Materials and methods.** To conduct the research, the extremely rich plan of the Rechtshafner was used in the form of a 3-factor experiment. It was implemented using a program on a PC. The significance of the regression coefficients obtained as a result of the solution was evaluated according to the Student's criterion. **Results and conclusions.** To find the parameters of the inertial rotary cutting machine for harvesting white cabbage, an extremely rich plan of the Rechtshafner was

experimentally implemented. According to the obtained regression equations, after determining their coefficients for various fork sizes, sections of response surfaces with an assessment of damage to forks are constructed and the values of the studied parameters are recommended. In accordance with the solution of the equations, the optimal cut height varied from 14 to 14.5 cm, which fully corresponds to the parameters of the poker (16 cm), the angle of rotation of the knife at different fork diameters was in the range from 9 to 12 degrees, which is explained by the design features of the combine with an inertial rotary cutting machine, the ratio of speeds (circumferentially rotating the knife and translational movement of the machine) for small diameters of the head was – 1.8, and for large ones – 2.25. A large value ensures the overturning of the cabbage fork after pruning with a knife due to increased circumferential speed. For practical purposes, a large value is recommended, i.e. 2.25.

Key words: *white cabbage, cabbage harvesters, inertial rotary combines, cabbage harvesting, mechanized cabbage harvesting.*

Citation. Tseplyaev A. V. Optimization of the parameters of a cabbage harvesting machine with an inertial rotary cutting machine. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 595-605 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-60.

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 approved the final version presented.

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

УДК 631.635.34

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАПУСТОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ С ИНЕРЦИОННО-РОТОРНЫМ РЕЖУЩИМ АППАРАТОМ

А. В. Цепляев, аспирант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Белокочанная капуста имеет большое значение в народном хозяйстве. Она используется как один из важных продуктов в питании человека, как кормовая составляющая в животноводстве, а также представляет интерес для медицины. Как продукт, входящий в рацион человека, она используется как в свежем виде, так и в различных вариантах после обработки. Капуста, единственная в своем роде культура, которая хорошо заквашивается, достаточно долго хранится и может служить основным ингредиентом для приготовления различных салатов. При возделывании белокочанной капусты основная часть затрат от всего технологического процесса (до 30%) приходится на уборку. В фермерских хозяйствах, на небольших площадях (20-25 га), уборку капусты проводят вручную. Она обычно состоит из нескольких операций: срезание вилок капусты и погрузка в транспортное средство для отправки на сортировочный пункт; срезание вилок капусты и погрузка в транспортное средство и транспортировка на край убираемого поля. Далее для обеих технологий вручную обрезают листовую часть вилка и затаривают в сетки или контейнеры. Для более крупных хозяйств, где площади значительно выше, используются различные комбайны. По своему устройству их подбирающая часть оснащена лифтерами или вращающимися конусами для выдергивания капусты и ножами для обрезки кочерыжки с корневищем. Нами предлагается режущий аппарат инерционно-роторного типа для подрезания кочанов вертикально вращающимся ножом. Для нахождения его кинематических параметров экспериментальным способом разработан и реализован многофакторный эксперимент. По его результатам рекомендованы оптимальные значения основных факторов. **Объект.** В качестве объекта исследования рассматривался технологический процесс уборки капусты с применением комбайна с инерционно-роторным режущим аппаратом, оснащенным вертикальным поворотным ножом. **Материалы и методы.** Для проведения исследований использован предельно насыщенный план «Рехтшафнера» в виде 3-х факторного эксперимента. Он был реализован с помощью программы на ПЭВМ. Значимость коэффициентов регрессии, полученных в результате решения, оценивалась по критерию Стюдента. **Результаты и выводы.**

Для нахождения параметров работы инерционно-роторного режущего аппарата для уборки белокочанной капусты опытным путем реализован предельно насыщенный план «Рехт-шафнера». По полученным уравнениям регрессии после определения их коэффициентов для различных размеров вилка построены сечения поверхностей отклика с оценкой по повреждению вилок и рекомендованы значения изучаемых параметров. В соответствии с решением уравнений оптимальная высота среза изменялось от 14 до 14,5 см, что вполне соответствует параметрам кочерыжки (16см), угол поворота ножа при различных диаметрах вилка находился в пределах от 9 до 12 градусов, что объясняется особенностями конструкции комбайна с инерционно-роторным режущим аппаратом, соотношение скоростей (окружной вращения ножа и поступательной-движения машины) для малых диаметров кочана составляло – 1,8 , а для крупных – 2,25. Большая величина обеспечивает опрокидывание вилка капусты после подрезания ножом за счёт повышенной окружной скорости. Для практических целей рекомендована большая величина, т.е. 2,25.

Ключевые слова: белокочанная капуста, капустоуборочные машины, инерционно-роторные комбайны, уборка капусты, механизированная уборка капусты.

Цитирование. Цепляев А. В. Оптимизация параметров капустоуборочной машины с инерционно-роторным режущим аппаратом. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 595-605. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-60.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Капуста – растение приморского климата. Ее родина – страны атлантического и средиземноморского побережья Европы и Азии, Англия, Франция, Италия, Греция, Турция, Сирия, где она и поныне встречается в диком виде. Дикая капуста не образует кочана. В первый год у нее образуется небольшая розетка прикорневых листьев, а во второй – цветонос, на котором созревают семена [2, 13].

Широкому распространению капусты в России способствуют такие важные ее качества, как высокая урожайность, наличие сортов с различной длительностью вегетационного периода, хорошая сохраняемость при транспортировке и устойчивость к низким температурам. Кроме того, белокочанная капуста идет на переработку: квашение, маринование, приготовление консервов [6, 12].

Учитывая постепенное сокращение производства белокочанной капусты в индивидуальном секторе, для гарантированного снабжения населения этой продукцией необходимо ориентироваться на освоение новых высокоэффективных технологий ее производства.

В условиях рыночных отношений, когда ежегодно меняются площади, отводимые под капусту, сорта и технология уборки, возникла необходимость в новой капустоуборочной технике. Традиционно на уборку капусты хозяйства привлекали тысячи работников [4, 7].

После развала СССР и начала перестройки в России производство комбайнов и линий по уборке капусты было прекращено и машинная уборка белокочанной капусты резко снизилась. В настоящее время уборка белокочанной капусты в фермерских хозяйствах в основном осуществляется вручную.

По валовому сбору продукции капуста среди овощных культур занимает первое место. Ее выращивают всюду – от южных до северных границ России. Наиболее распространена белокочанная капуста. В северной и средней частях нечерноземной зоны она занимает до 50% площади всех овощных культур и до 98% всей площади под капустными культурами. Здесь получают высокие урожаи – до 100 т/га. Все виды и разновидности капусты содержат витамины и обладают целебными свойствами [9].

Капуста – одна из наиболее распространенных овощных культур. Она богата азотистыми веществами, золой, сухими веществами, сахарами, витаминами. В этом смысле капуста является основным источником витаминов для человека. Кроме того, необходимо учесть, что капуста является важной составляющей в рационе питания как людей, так и животных. Она также весьма полезна при лечении органов пищеварения.

Белокочанная капуста – непревзойденный продукт для первых блюд, основной компонент для приготовления русских щей и украинских борщей. Все сорта белокочанной капусты являются хорошими очистителями почвы от сорняков. Своей крупной листвой капуста угнетает сорные растения. Это положительная сторона белокочанной капусты как предшественника, но она хорошо использует питательные вещества почвы и обычно оставляет после себя истощенное поле. Возвращение капусты на прежнее место возможно только через пять лет. Белокочанная капуста – растение холодостойкое, выдерживает заморозки до 3-5°C [5, 11].

Культивируемые в России сорта белокочанной капусты имеют различное хозяйственное назначение: ранние сорта используют для текущей реализации населению через торговую сеть, среднеспелые и среднепоздние – для квашения и кратковременного хранения, позднеспелые – для длительного зимнего хранения [1].

Материалы и методы. В результате проведенных исследований было выявлено, что на процесс уборки кочанной капусты наибольшее влияние оказывает высота установки режущего аппарата над поверхностью почвы (высота среза), соотношение скоростей (режущего аппарата и движения капустоуборочной машины) и угол установки ножа (угол установки ножа режущего аппарата в горизонтальной плоскости).

Следующие исследования были направлены на определение оптимальных значений конструктивных параметров капустоуборочной машины с режущим аппаратом наш аппарат типа. При этом они оценивались минимальным повреждением кочанов капусты.

Для решения этой задачи разработана капустоуборочная машина с инерционно-роторным режущим аппаратом, в конструкции которого предусмотрен режущий барабан 1, состоящий из диска 2, установленного на шлицевом валу 14 свободно, к торцу диска жестко закреплена ступица 5 с замком 6, смонтированным на шлицах вала 14. Вилкой 16 замок 6 перемещается в осевом направлении. Замок пружиной 7 отводится от зубьев ступицы, а его включение обеспечивает силовой рычаг 9. Вся конструкция режущего аппарата опирается на копирующую лыжу 17.

С внутренней стороны диска шарнирно к нему закреплены ножи 3 в виде заостренных с пружинами 13 пластин, ножи установлены на осях 4, снабженных контактами, закрепленными, на упорах. Подобные контакты установлены на упорах ножей. Ступица замка по наружному контуру снабжена полукруглыми вырезами, в которые входит цилиндрический ролик, установленный на конце подпружиненного двуплечего рычага, что исключает поворот режущего барабана в обратную сторону и удерживает нож в исходном положении при встрече с кочаном капусты.

При подходе ножа к кочану нож начинает поворачиваться на оси, сжимая пружину и одновременно замыкая контакты, через замкнутые контакты подается электрический сигнал и перемещается сердечник катушки, который воздействует на силовой рычаг, смещая по шлицевому валу замок, чему способствует пружина замка, зубья ступицы и замок взаимодействуют между собой, заставляя вращаться режущий барабан от гидромотора 15.

Настройка капустоуборочной машины на необходимые для экспериментов режимы работы осуществлялась в соответствии с принятой методикой.

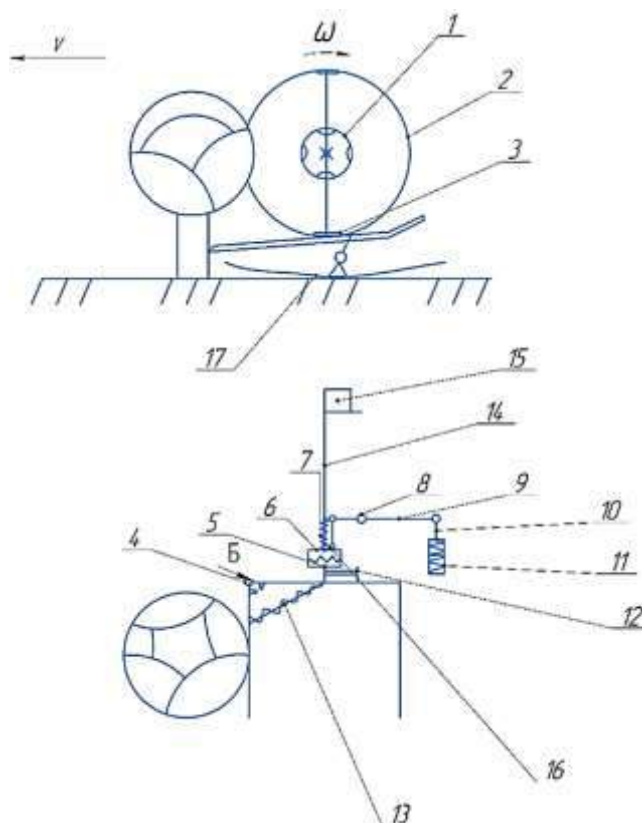


Рисунок 1 – Схема синхронного режущего аппарата капустоуборочной машины
1 – барабан режущий; 2 – диск; 3 – нож; 4 – ось с датчиком; 5 – ступица; 6 – замок; 7 – пружина замка; 8 – ось рычага; 9 – рычаг силовой; 10 – щиток; 11 – катушка; 12 – рычаг-фиксатор; 13 – пружина ножа; 14 – вал шлицевой; 15 – гидромотор; 16 – вилка; 17 – лыжа

Figure 1 – Diagram of the synchronous cutting apparatus of the cabbage harvester
1 – cutting drum; 2 – disk; 3 – knife; 4 – axis with sensor; 5 – hub; 6 – lock; 7 – lock spring; 8 – lever axle; 9 – power lever; 10 – panel; 11 – coil; 12 – retainer lever; 13 – knife spring; 14 – splined shaft; 15 – hydraulic motor; 16 – fork; 17 – ski

Исследованием для определения оптимальных параметров предшествовали однофакторные эксперименты. Поскольку в соответствии с методикой область оптимизации имеет весьма незначительные границы и предназначена для согласования взаимодействия одновременно нескольких факторов на показатель оценки, в данной работе повреждения вилок капусты. Поэтому ниже представляем график зависимости повреждения от соотношения скоростей (поступательной и вращения ножа), угла поворота ножа при срезе, а также высоты установки ножа над копирующей лыжей.

Рассмотрим изменения повреждения в зависимости от соотношения скоростей $\lambda \frac{U_H}{V_M}$ [3].

Зависимости представлены на графике и носят полиномиальный характер, что указывает на наличие области минимальных значений по критерию повреждения. При соотношении скоростей $\lambda=1,0$ срезанные вилки за счёт малой окружной скорости опрокидываются вперед, что вызывает их существенное повреждение (до 12%). По мере увеличения соотношения от $\lambda=1,75 \dots 2,25$ повреждения достигают минимальных значений в пределах от 3,7 до 4,8%, следовательно, указанные параметры « λ » представляют собой некоторый оптимум. Последующий незначительный рост повреждений при $\lambda \geq 2,5$ связан с повторным воздействием ножа на вилку после его среза ножом (рисунок 2).

Величина повреждения кочанов зависит и от их диаметра. При $D_k=10...17$ см минимальное повреждение соответствует соотношению λ в пределах 1,75...2,0; а для средних $D_k=17...25$ см – 1,75...2,25 и для крупных $D_k \geq 25$ см λ в пределах 2,25...2,5. Это изменение λ связано с минимальными значениями соотношения, обеспечивающими выполнение технологических требований.

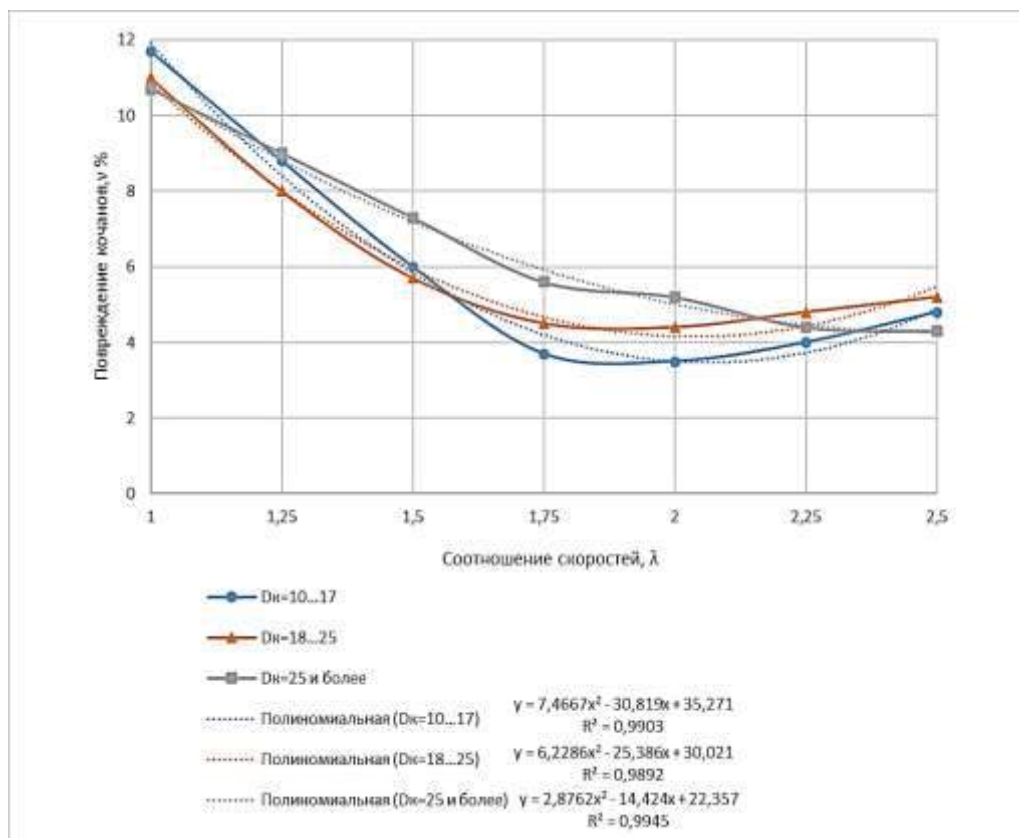


Рисунок 2 – Зависимость повреждения кочанов капусты от соотношения скоростей и их диаметра
Figure 2 – Dependence of damage to cabbage heads on the ratio of speeds and their diameter

Влияние угла поворота ножа на повреждаемость вилок капусты оценивалось для обоснования конструкции, а точнее, нахождения места установки контакта для подачи электрического сигнала к электромагниту включения диска с ножом. При проведении опытов угол изменялся с 0 до 20 градусов. Исходя из конструкторских соображений. Повреждение кочанов наблюдалось от возврата ножа из крайнего положения при срезе в начальное. Более всего повреждались крупные вилки, особенно при больших углах поворота ножа (до 20 градусов). Процент повреждения изменялся от 1% для мелких кочанов до 1,7% для крупных. Кроме этого учитывалась высота установки ножа режущего аппарата, которая регулировалась за счет установки копирующей лыжи. Размеры кочерыжки капусты (от поверхности почвы до основания вилка) изучаемых сортов колеблются от 11 до 16 см. На их размер влияет не только биологическая особенность сорта, но и фазы развития вилок. Поэтому учёт указанного параметра весьма важен для создания самой конструкции и последующих регулировок. График влияния установки ножа на повреждение вилок представлен на рисунке 3.

Общий характер изменения повреждения кочанов от высоты установки ножа представлен полиномиальной функцией в виде полинома второй степени. Если учитывать предельные допустимые значения повреждения в соответствии с агротребованиями

до 5%, то для крупных вилок это расстояние составило 12 см, средних до 15 см, мелких до 18 см. Эта зависимость обеспечивается особенностями конструкции, поскольку увеличение расстояния изменяет положение ножа, поднимая его ближе к кочану. Таким образом, чем больше указанный зазор, тем выше повреждения кочанов капусты.

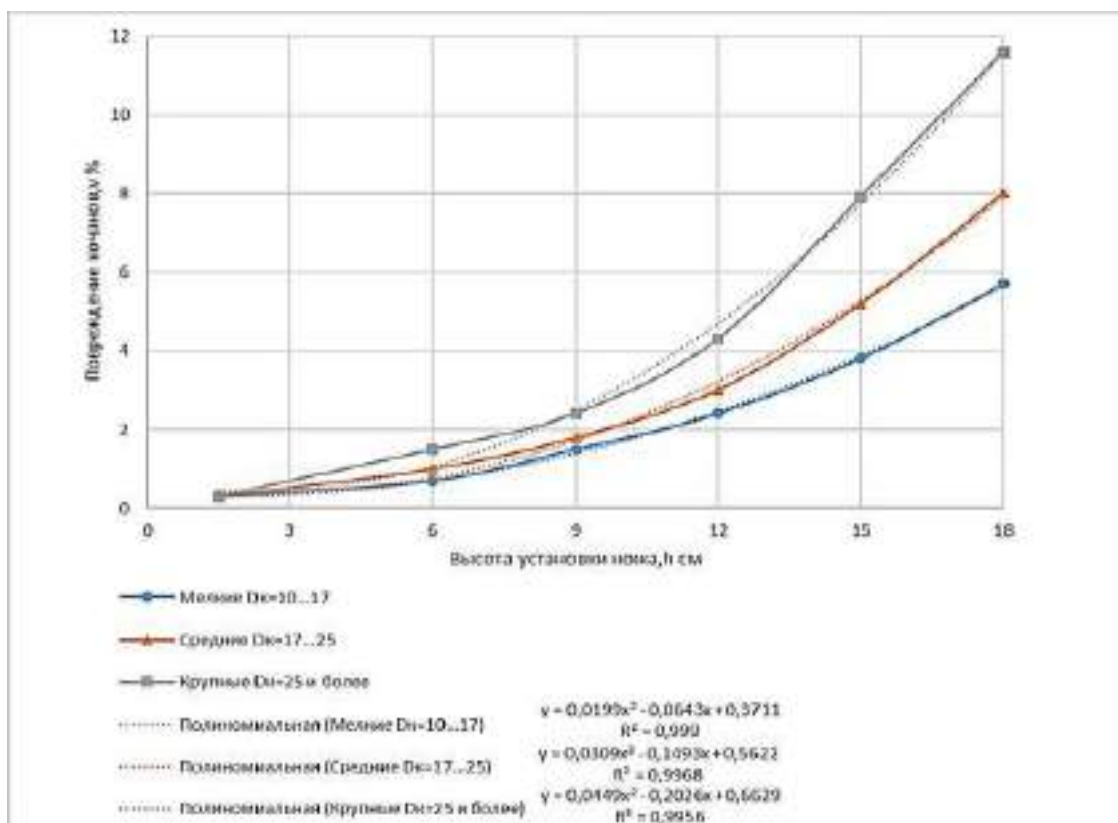


Рисунок 3 – Зависимость повреждения кочанов капусты от высоты установки ножа
Figure 3 – Dependence of cabbage head damage on knife installation height

Для исследования области оптимума был реализован предельно насыщенный план Рехтшафнера для 3-х факторного эксперимента. По результатам экспериментальных данных с помощью специальной программы на ПЭВМ были определены коэффициенты регрессии. Их значимость оценивалась по критерию Стьюдента. В результате расчетов были получены уравнения регрессии в кодированном виде для сортов кочанной капусты «Форсаж» и «Булат» по повреждению кочанов.

а) для мелких кочанов ($D = 10-17$ см)

$$Y^1 = 3,64 - 0,52X_1 - 0,08X_2 - 0,05X_3 - 0,05X_1X_2 - 0,03X_1X_3 - 0,02X_2X_3 + 0,78X_1^2 + 1,33X_2^2 + 1,1X_3^2 \quad (1)$$

б) для средних кочанов ($D = 18-25$ см)

$$Y^1 = 2,91 - 0,17X_1 - 0,15X_2 + 0,08X_3 - 0,1X_1X_2 + 0,08X_1X_3 - 0,05X_2X_3 + 1,26X_1^2 + 0,74X_2^2 + 1,01X_3^2 \quad (2)$$

в) для крупных кочанов ($D > 25$ см)

$$Y^{+1} = 3,79 - 0,5X_1 - 0,01X_2 + 0,01X_3 - 0,02X_1X_2 + 0,03X_1X_3 - 0,02X_2X_3 + 0,71X_1^2 + 1,31X_2^2 + 1,21X_3^2 \quad (3)$$

Адекватность полученных математических моделей проверялась по критерию Фишера. Получено, что во всех случаях исследования капустоуборочной машины $F_p < F_{\text{табл}}$ ($F_{\text{табл}} = 2,6$ – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5%). Таким образом считаем, что математическая модель адекватна результатам эксперимента.

Чтобы определить оптимальные значения факторов необходимо продифференцировать полученные уравнения регрессии по каждой переменной и приравнять к нулю частные производные, решив полученные системы уравнений. После решения этих систем уравнений получаем значения факторов, оптимизирующих величину критерия оценки, которые представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Оптимизация значений факторов для мелких кочанов капусты (D = 10-17 см)

Table 1 – Optimization of factor values for small cabbage heads (D = 10-17 cm)

Фактор	Повреждение кочанов
X_1 – высота установки ножа, см	$\frac{0,34}{14}$
X_2 – соотношение скоростей	$\frac{0,03}{1,8}$
X_3 – угол поворота ножа, °	$\frac{0,02}{12}$

Таблица 2 – Оптимизация значений факторов для средних кочанов капусты (D = 18-25 см)

Table 2 – Optimization of factor values for medium cabbage heads (D = 18-25 cm)

Фактор	Повреждение кочанов
X_1 – высота установки ножа, см	$\frac{0,07}{14,5}$
X_2 – соотношение скоростей	$\frac{0,1}{2,05}$
X_3 – угол поворота ножа,	$\frac{-0,04}{10}$

Таблица 3 – Оптимизация значений факторов для крупных кочанов капусты (D > 25 см)

Table 3 – Optimization of factor values for large cabbage heads (D > 25 cm)

Фактор	Повреждение кочанов
X_1 – высота установки ножа, см	$\frac{0,07}{14,5}$
X_2 – соотношение скоростей	$\frac{0,1}{2,25}$
X_3 – угол поворота ножа,	$\frac{-0,04}{9}$

Примечание: значения в числителе – в кодированном виде, в знаменателе в раскодированном виде.

Для анализа полученных результатов и изучения поверхности отклика провели каноническое преобразование математических моделей второго порядка.

В результате этого преобразования уравнения регрессии, представленные в канонической форме, имеют вид:

а) для мелких кочанов (D = 10-17 см)

$$Y^1 - 3,6 = 0,78X_1^2 + 1,33X_2^2 + 1,1X_3^2 \quad (4)$$

б) для средних кочанов (D = 18-25 см)

$$Y^0 - 2,9 = 1,26X_1^2 + 0,74X_2^2 + 1,01X_3^2 \quad (5)$$

в) для крупных кочанов ($D > 25$ см)

$$Y^{+1} - 3,8 = 0,71X_1^2 + 1,31X_2^2 + 1,21X_3^2 \quad (6)$$

Поскольку все коэффициенты при квадратных членах имеют одинаковые знаки, то поверхности откликов, описанные уравнениями (1,2,3), представляют семейство эллипсов с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях факторов.

При рассмотрении двумерных сечений поверхности отклика по уравнению (1) для мелких кочанов капусты сортов «Форсаж» и «Булат» факторов высота среза (X_1), соотношение скоростей (X_2) и угол поворота ножа (X_3) по основному критерию оптимизации, они были решены графически.

Координаты центров поверхностей находятся в следующих точках. $X_1=0,34$; $X_2 = 0,03$; $X_3 = 0,02$. При этом оптимальное значение повреждений кочанов находится в центре поверхности $Y_{-1} = 3,6\%$.

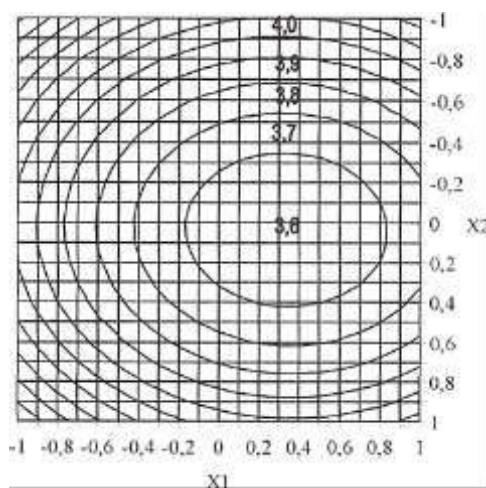


Рисунок 4 – Двумерное сечение для изучения влияния факторов x_1 x_2 на повреждение мелких кочанов при $x_3 = 0,02$

Figure 4 – Two-dimensional cross-section to study the effect of x_1 x_2 factors on damage to small heads at $x_3 = 0.02$

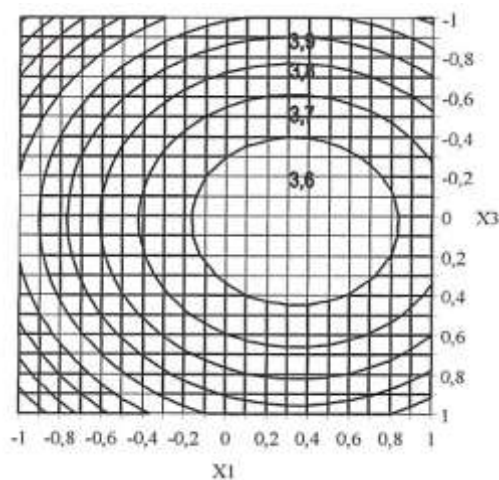


Рисунок 5 – Двумерное сечение для изучения влияния факторов x_1 x_3 на повреждение мелких кочанов при $x_2 = 0,03$

Figure 5 – Two-dimensional cross-section to study the effect of x_1 x_3 factors on damage to small heads at $x_2 = 0.03$

Подобный анализ проведен для определения параметров средних и крупных вилок.

Заключение. Определение параметров капустоуборочной машины напрямую связан с самим объектом, т.е. размерами капусты. В качестве исходного взят диаметр вилка. Исходя из этого вилки распределили по трем группам: мелкие диаметром 10-17 см; средние диаметром 18-25 см и крупные диаметром 25 и более см. Оценка проводилась по повреждению вилок, которое по агротребованиям не должно превышать 5%. По результатам однофакторных экспериментов и реализации в последующем предельно насыщенного плана Рехтшафнера определены оптимальные параметры режущего аппарата капустоуборочной машины. Оптимальные значения высота среза кочерыги (14-14,5 см); соотношения скоростей (1,8-2,25); угла поворота ножа в горизонтальной плоскости (8-12 градусов). Для практического применения в конструкции машины принято: угол поворота ножа – 10 градусов, соотношение скоростей – 2,3.

Conclusions. The determination of the parameters of the cabbage harvester is directly related to the object itself that is the size of the cabbage. Based on this fork, the diameter of the fork was taken as the initial one in three groups: small-diameter 10-17 cm; average diameters of 18-25 cm and large diameters of 25 or more cm. The assessment was carried out on damage to forks, which, according to agricultural demands, should not exceed 5%. Based on the results of one-factor experiments and the subsequent implementation of the extremely saturated Rechtschafner plan, the optimal parameters of the cutting apparatus of the cabbage harvester were determined. Optimal values of the cutoff height of the stingray (14-14.5 cm); velocity ratios (1.8-2.25); angle of knife rotation in horizontal plane (8-12 degrees). For practical use in the design of the machine, it is accepted: the angle of rotation of the knife is 10 degrees, the speed ratio is 2.3.

Библиографический список

1. Алатырев С. С., Кручинкина И. С., Алатырев А. С., Юркин А. П. Аналитическое обоснование конструктивных параметров приспособления для бережной загрузки кочанов при машинной уборке капусты. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 8. С. 29-34.
2. Алатырев С. С., Мишин П. В., Кручинкина И. С., Алатырев А. С. Оптимизация процесса отгрузки и укладки кочанов в контейнеры при машинной уборке капусты в щадящем режиме. Вестник КрасГАУ. 2018. № 1 (136). С. 101-108.
3. Костюченков Н. В., Даирбекова А. К. Методика определения размерно-массовой характеристики растений капусты. Вестник Курганской ГСХА. 2013. № 4 (8). С. 58-59.
4. Тончева Н. Н., Белов В. В., Самсонов А. Н., Никитин А. И. Щадящая уборка белокочанной капусты как способ повышения ее лежкости. Вестник евразийской науки. 2014. № 2 (21). 106TVN214.
5. Тончева Н. Н., Лебедев В. Г., Егоров В. П. Технические средства для уборки овощей в малых формах хозяйствования. Известия ОГАУ. 2015. № 2 (52). С. 77-80.
6. Цеplяев А. В. Теоретический анализ процесса работы капустоуборочной машины. Известия НВ АУК. 2023. 2(70).
7. Цеplяев А. Н., Лазаренко Я. С. Результаты экспериментальных исследований по определению коэффициентов трения. Известия НВ АУК. 2012. № 4. С. 221-225.
8. Цеplяев А. Н., Ульянов М. В., Климов С. В., Цеplяев А. В. Теоретические исследования по истории перекачивания сферических и тороидальных тел на поверхность плодов бахчевых культур. Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 1 (29). С. 62-65.
9. Цеplяев А. Н., Цеplяев А. В., Цеplяев В. А., Ульянов М. В., Климов С. А. Определение оптимального соотношения скоростей рабочих элементов машин при уборке арбузов и капусты. Аграрный научный журнал. 2019. № 5. С. 89-94.
10. Шапров М. Н., Цеplяев А. В., Цеplяев А. Н., Богданов С. И., Бердышев В. Е. Результаты определения технологических свойств белокочанной капусты. Известия НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 458-465.

11. Espinosa H. D., Prorok B. C., Fischer M. A methodology for determining mechanical properties of freestanding thin films and MEMS materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 2003. V. 51. I. 1. P. 47-67.
12. Gongpei Cui, Xinmeng Zheng, Jingzheng Wang, Chen Yang, Zhihao Liu, Yongjie Cui Physical and Mechanical Experiments for Designing Cabbage Precision Trimming Device. *ASABE Annual International Meeting*. 2019. 1901420.
13. Wang W., Wang S., Zhang J. Experiment and Research on Cutting Mechanical Properties of Little Cabbage. *Appl. Sci*. 2022. V. 12. № 2060. P. 1418-1423.

References

1. Alatyrev S. S., Kruchinkina I. S., Alatyrev A. S., Yurkin A. P. Analytical justification of the design parameters of the device for careful loading of heads during machine cabbage harvesting. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2017. № 8. Pp. 29-34.
2. Alatyrev S. S., Mishin P. V., Kruchinkina I. S., Alatyrev A. S. Optimization of the process of shipping and placing heads in containers during machine cabbage harvesting in a gentle mode. *Vestnik KrasGAU*. 2018. № 1 (136). Pp. 101-108.
3. Kostyuchenkov N. V., Dairbekova A. K. Methodology for determining the dimensional mass characteristic of cabbage plants. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2013. № 4 (8). Pp. 58-59.
4. Toncheva N. N., Belov V. V., Samsonov A. N., Nikitin A. I. Gentle harvesting of white cabbage as a way to increase its lying quality. *Bulletin of Eurasian Science*. 2014. № 2 (21). 106TVN214.
5. Toncheva N. N., Lebedev V. G., Egorov V. P. Technical means for harvesting vegetables in small forms of management. *Izvestia OGAU*. 2015. № 2 (52). Pp. 77-80.
6. Tseplyaev A. V. Theoretical analysis of the process of operation of the cabbage harvester. *Izvestia NV AUK*. 2023. 2(70).
7. Tseplyaev A. N., Lazarenko Y. S. Results of experimental studies to determine friction coefficients. *Izvestia NV AUK*. 2012. № 4. Pp. 221-225.
8. Tseplyaev A. N., Ulyanov M. V., Klimov S. V., Tseplyaev A. V. Theoretical studies on the history of rolling spherical and toroidal bodies to the surface of the fruits of melons. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2019. № 1 (29). Pp. 62-65.
9. Tseplyaev A. N., Tseplyaev A. V., Tseplyaev V. A., Ulyanov M.V., Klimov S. A. Determining the optimal speed ratio of machine working elements when harvesting watermelons and cabbage. *Agrarian Scientific Journal*. 2019. № 5. Pp. 89-94.
10. Shaprov M. N., Tseplyaev A. V., Tseplyaev A. N., Bogdanov S. I., Berdyshev V. E. Results of determination of technological properties of white cabbage. *Izvestia NV AUK*. 2022. № 4 (68). Pp. 458-465.
11. Espinosa H. D., Prorok B. C., Fischer M. A methodology for determining mechanical properties of freestanding thin films and MEMS materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 2003. V. 51. I. 1. P. 47-67.
12. Gongpei Cui, Xinmeng Zheng, Jingzheng Wang, Chen Yang, Zhihao Liu, Yongjie Cui Physical and Mechanical Experiments for Designing Cabbage Precision Trimming Device. *ASABE Annual International Meeting*. 2019. 1901420.
13. Wang W., Wang S., Zhang J. Experiment and Research on Cutting Mechanical Properties of Little Cabbage. *Appl. Sci*. 2022. V. 12. № 2060. P. 1418-1423.

Информация об авторе

Цепляев Алексей Витальевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: ceplyaev_aleksey@mail.ru

Author's Information

Tseplyaev Aleksey Vitalievich, graduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiy, 26), e-mail: ceplyaev_aleksey@mail.ru

PATH PLANNING ALGORITHM FOR UAV BY GEOTAGS

O. S. Ostapovich, M. R. Vishnevskiy

Innopolis University
Innopolis, Tatarstan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: o.ostapovich@innopolis.university

Received 17.10.2023

Submitted 22.11.2023

Summary

The article presents the results of creating a system for processing a set of points located on the map. The created system of algorithms will speed up the creation of a flight mission and apply drones to different types of tasks: from monitoring the state of fields to photographing various objects. The results obtained were applied in a real task.

Abstract

Introduction. Modern trends in automation and digitalization involve the use of drones. Scanning objects or territories allows you to monitor their condition. In this study, attention is paid to the analysis of power transmission lines, which is an important task for maintaining the stable operation of agricultural enterprises. Various algorithms are used for high-quality performance of tasks by unmanned aerial vehicles. **Object.** The object of research is the automation of the construction of a flight mission for UAVs. **Materials and methods.** The data received from the customer on the location of power lines were clustered by the Density-based spatial clustering of applications with noise (DBScan) algorithm. For each cluster, a graph with a minimum length of faces was created using the minimum spanning tree (MST) algorithm. The route was built using the depth-first search algorithm (DFS). **Results and conclusions.** The developed system of algorithms allows to automate the process of creating a flight mission and has sufficient versatility for use in various tasks of scanning objects and territories. The described results were presented to UAV testers and pilots, who appreciated the user-friendliness of the work and gave positive feedback.

Key words: UAVs, drones, geotags, DBScan, MST, DFS.

Citation. Ostapovich O. S., Vishnevskiy M. R. Path planning algorithm for UAV by geotags. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 606-614 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-61.

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 528.44+62-503.5:631.9

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ ДЛЯ БПЛА ПО ГЕОМЕТКАМ

О. С. Остапович, инженер

М. Р. Вишневский, инженер

АНО ВО «Университет Иннополис»
г. Иннополис, Татарстан, Российская Федерация

Актуальность. Благодаря современному развитию автоматизации и цифровизации беспилотные летательные аппараты (БПЛА, беспилотники) начинают применяться все более широко. Одной из важных областей использования БПЛА является сканирование объектов или территорий, что позволяет следить за их состоянием. Особенно актуальны такие задачи в сельской местности, где регулярный мониторинг объектов инфраструктуры вручную или наземными средствами затруднителен из-за значительных расстояний между ними. В исследовании уделяется внимание анализу линий электропередач, что является важной задачей для поддержания стабильной работы сельскохозяйственных предприятий. **Объект.** Объектом исследова-

ния является алгоритм управления БПЛА для автоматизации построения полётной миссии. **Материалы и методы.** Исследование проведено на базе информации о расположении линий электропередач, полученных от заказчика. Данные о координатах линий электропередач были кластеризованы алгоритмом Density-based spatial clustering of applications with noise (DBScan). По каждому кластеру был создан граф с минимальной длиной граней при помощи алгоритма минимального связующего дерева (MST). Маршрут был построен при помощи алгоритма поиска в глубину (DFS). **Результаты и выводы.** Разработанная система алгоритмов позволяет автоматизировать процесс создания полётной миссии и обладает достаточной универсальностью для использования в различных задачах сканирования объектов и территорий. Описанные результаты были представлены испытателям и пилотам БПЛА, которые оценили удобство работы и дали положительный отзыв.

Ключевые слова: БПЛА, дроны, геометки, DBScan, MST, DFS.

Цитирование. Остапович О. С., Вишневский М. Р. Алгоритм планирования пути для БПЛА по геометкам. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 606-614. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-61.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последнее время беспилотные летательные аппараты все чаще используются для мониторинга и сканирования местности [1]. Беспилотные летательные аппараты способны передвигаться автономно и помогать в выполнении тех задач, которые ранее осуществлялись людьми [2].

Дроны обычно используются для картографирования или сканирования. Очень часто дроны сканируют поля, например, в сельском хозяйстве, где используются различные типы дронов [3], различные датчики [4] или алгоритмы [5]. Чтобы сфотографировать местность с квадрокоптера или самолета вертикального взлета и посадки (VTOL), нужны координаты местности, по которой будет пролетать самолет. В рамках проведенного исследования наборы координат таких точек были предоставлены заказчиком. В среднем один набор координат содержит около 1000 значений долготы и широты. Эти точки могут быть отображены на карте, как показано на рисунке 1.

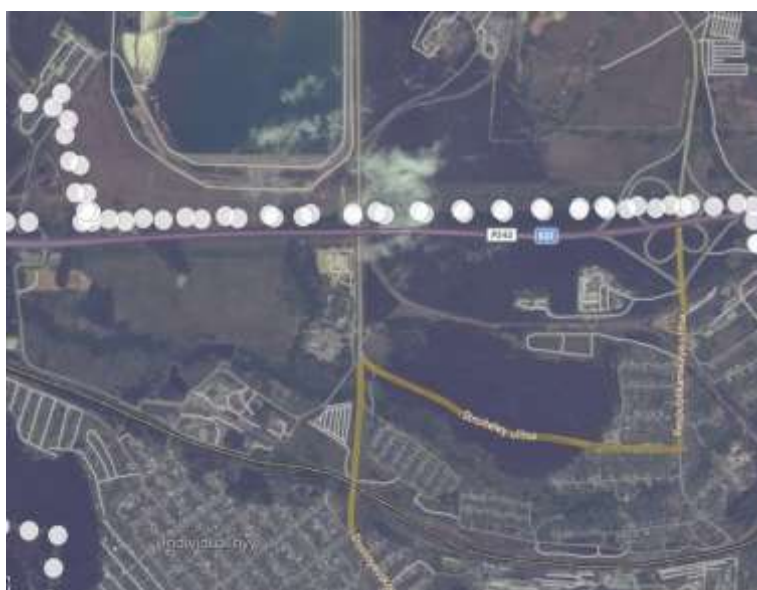


Рисунок 1 – Точки, расположенные на фрагменте карты
Figure 1 – Points located on a map fragment

Точки, представленные на этом рисунке, являются местами, где расположены столбы, удерживающие линии электропередачи. Технологическая задача заключается в отслеживании состояния этих столбов. БПЛА требуется пролететь над каждым столбом и сфотографировать его. В результате из большого количества изображений собирается единый ортофотоплан – единое изображение. Для решения задачи необходимо создать полётное задание – сгенерировать траекторию полёта БПЛА. В контексте задачи траектория – это последовательность координат точек в формате, подходящем для запуска в программе управления полётом. Предполагается, что БПЛА перемещается от точки к точке по кратчайшему пути с поправкой на динамические возможности аппарата.

Стандартные программные средства управления квадрокоптером предполагают установку точек траектории вручную. Но, с учетом большого объема данных, ручное размещение этих точек в последовательности требует слишком больших усилий и времени. Поэтому актуальна разработка алгоритма, позволяющего построить оптимальную траекторию, адаптированную для рассматриваемого типа БПЛА. В этой статье обсуждается создание и реализация этого алгоритма.

Материалы и методы. С точки зрения математики задача сводится к поиску оптимального маршрута. Критерием оптимизации при преобразовании набор точек в последовательность является минимизация суммарной длины маршрута. Поставленная задача является NP-полной, то есть оптимальное решение может быть достигнуто только полным перебором, что невозможно для исходного количества точек, особенно с учётом того, что каждая точка независима от других. Таким образом, на практике приходится решать задачу приближённо. Известно несколько алгоритмов для нахождения приближительного оптимального пути. Первоначально данные группируются с помощью DBScan, поскольку полётов может быть несколько. Затем для каждого кластера будет найдено MST, чтобы определить минимальный граф, который затем передаётся DFS на заключительном этапе.

А. DBscan. После нанесения всех точек на график стало заметно, что они расположены на таком расстоянии друг от друга, которое используемые беспилотники не смогли бы покрыть за один полет, поэтому в любом случае набор точек должен быть разделен на несколько полетных заданий. Для этого используется алгоритм кластеризации. В рассматриваемом случае это DBScan, который хорошо зарекомендовал себя в задачах такого типа. Этот алгоритм способен объединять множество близко расположенных точек в единый кластер. Этот алгоритм уже использовался различными авторами для решения задач кластеризации путей [6, 7]. Все кластеры, идентифицированные с помощью DBScan в заданном наборе данных, можно увидеть на рисунке 2. Оси указывают координаты широты и долготы. Вынесенный фрагмент рисунка показывает, что кластер представляет собой набор близко расположенных точек. Каждый кластер представляет собой сегмент общей сети линий электропередачи, который необходимо сфотографировать. После кластеризации данных получается набор точек для каждого полетного задания.

Количество кластеров изначально не известно, но приблизительно известно среднее расстояние между двумя соседними точками. В среднем это расстояние составляет 25 метров для столбов в пределах одного кластера, в то время как расстояние между кластерами составляет от 6 до 100 км. Летать на такие расстояния трудно и опасно. Чтобы избежать этого, используемый алгоритм разделит все данные на кластеры. Далее каждый кластер должен рассматриваться как отдельное полетное задание обработки данных.

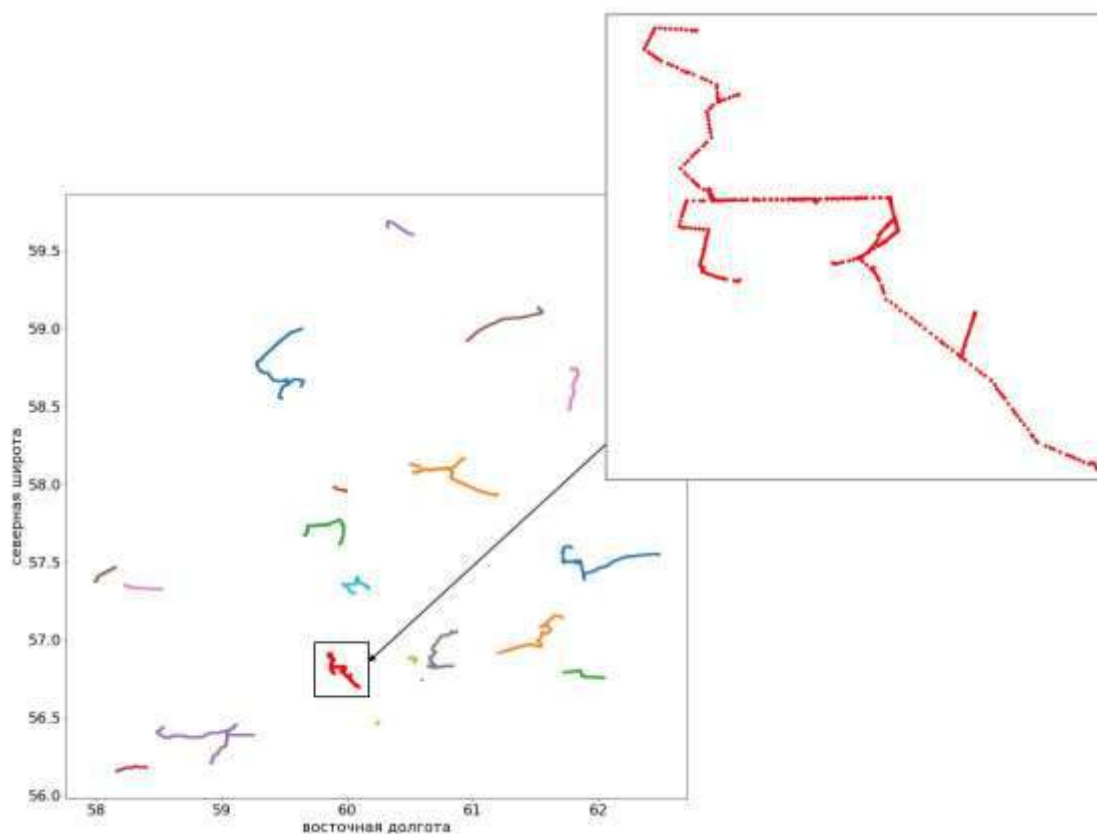


Рисунок 2 – Результат кластеризации с использованием алгоритма DBScan
Figure 2 – Clustering result using the DBScan algorithm

В. MST. Следующим допущением является тот факт, что анализируются столбы, соединенные проводами. То есть, как правило, сеть соединенных столбов будет представлять собой дерево, или, другими словами, граф без зацикливаний. Чтобы найти кратчайший маршрут, авторы, занимающиеся проблемами планирования маршрута, выбирают соответствующий алгоритм. В работах, описывающих обширные пространства, часто используется алгоритм Rapidly exploring random tree (RRT) [7, 8, 9]. Этот алгоритм подходит для поставленной задачи, однако, учитывая, что эти точки на карте расположены на прямой и ответвления появляются редко, что видно, например, на рисунке 1, было решено использовать менее популярный, но более подходящий алгоритм. MST – это алгоритм для соединения всех точек в единую цепочку и минимизации расстояния между ними. Известны применения алгоритма для соединения большого количества точек в единую линию при выполнении задач по тушению пожаров [10] и для других опасных природных явлений [11].

Чтобы построить траекторию, необходимо расположить все точки в последовательности, используя любой из методов построения MST, например алгоритм Прима или алгоритм Крускала [12]. Эти методы работают с матрицей смежности. Матрица представляет собой пустой набор данных, в которую добавляются данные о расстояниях между точками, которые представляют собой ребра графа в случае данной задачи. Таким образом, создаётся и заполняется матрица смежности для каждой точки, используя фактическое расстояние между точками в качестве весовой функции. Расстояния берутся из данных геобиблиотеки. На рисунке 3 можно увидеть результаты применения алгоритма MST.

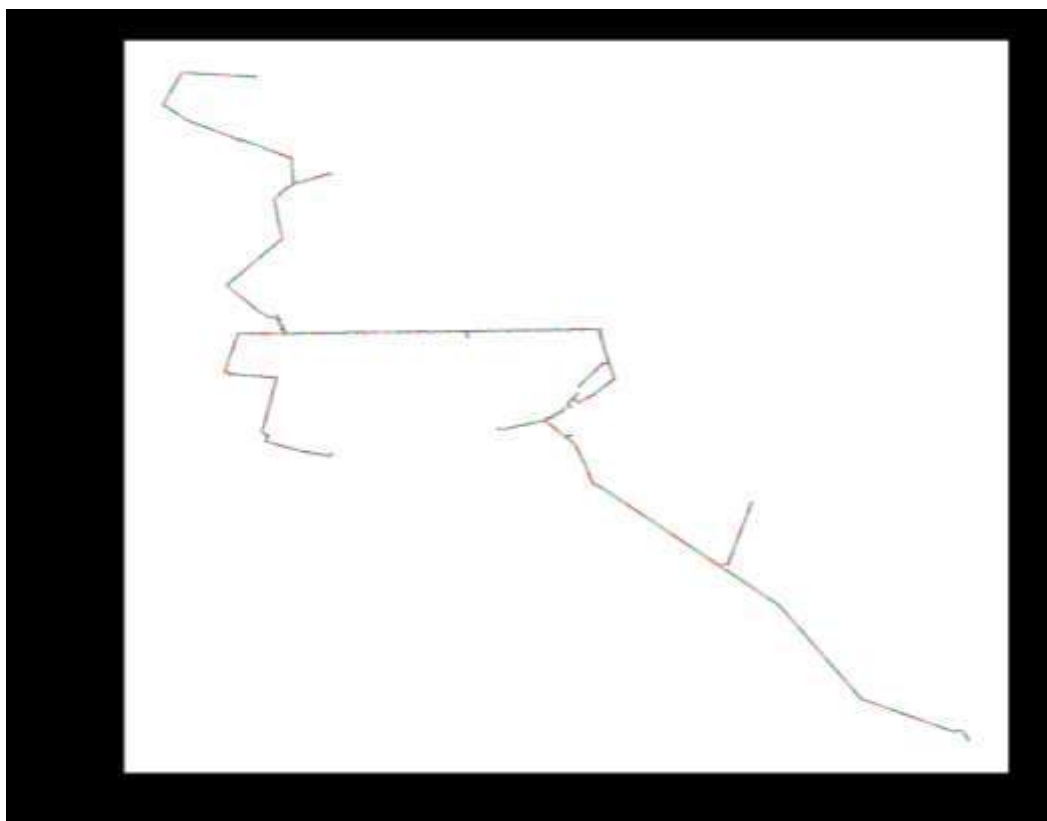


Рисунок 3 – Результат применения MST
Figure 3 – Result of MST application

В результате набор точек соединён в виде графа без петель. На рисунке 3 и далее работа алгоритма иллюстрируется только одним кластером из многих – кластером, выделенным красным цветом на рисунке 2.

Полученные данные наглядно демонстрируют, что исходные наборы точек действительно представляют дерево и в результате задача сводится к тому, чтобы обойти дерево по наиболее оптимальному пути. Важно учитывать, что на обратном пути движение по графу не требуется: имеется двумерное пространство с точками, что позволяет возвращаться из веток к их началу, не посещая те точки, в которых уже были, а наоборот, пролетая напрямую к необходимой точке.

С. DFS. Для построения итогового пути рассматривается дерево как диаметр и набор меньших деревьев, исходящих из этого диаметра. Это позволяет решать задачу рекурсивно, изначально выбирая начальную и конечную точки основного маршрута. После основного пути нужно обратить внимание на более мелкие участки. Чтобы завершить процесс создания полётного задания, используется алгоритм DFS. Этот алгоритм позволяет найти крайние точки и тем самым выбрать основной путь для кластера [13]. Этот алгоритм часто используется в задачах планирования траектории [13].

Сначала берется произвольная точка графика. Затем, проходя по краям графика, находим точки наиболее удалённые от исходной с разных сторон [14]. На рисунке 4.а показаны результаты выделения основного пути.

На том же рисунке видно, что после нахождения основного пути остались ответвления. Чтобы добавить их к полётному заданию, осуществляется проход по основному маршруту от одного конца до другого. Когда обнаруживается, что, согласно графику, путь разветвляется, каждая из ветвей проходится рекурсивно.

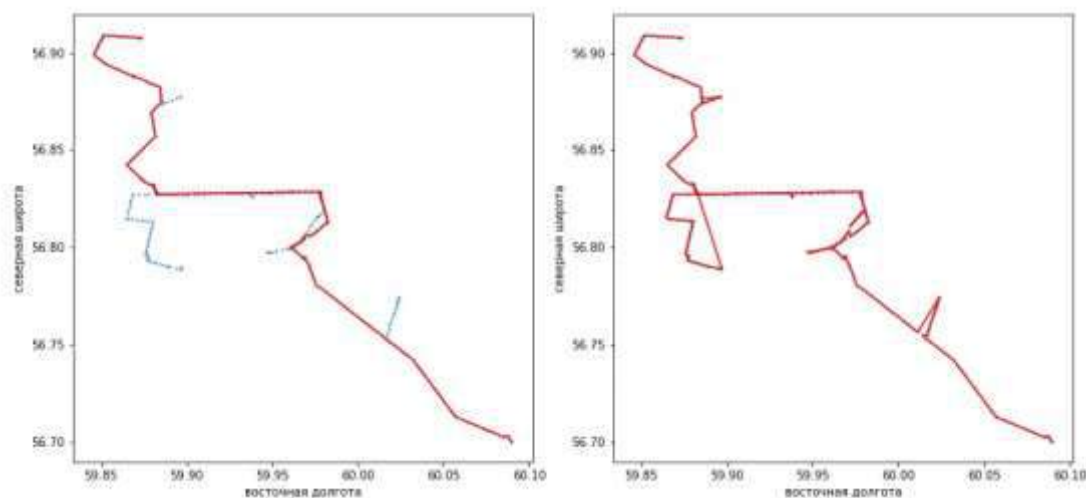


Рисунок 4 – Путь после обработки: а) основной путь, выделенный с использованием алгоритма DFS, б) конечный путь

Figure 4 – The path after processing: a) the main path selected using the DFS algorithm, b) the final path

Чтобы завершить создание итогового пути, осталось добавить разветвления. Для этого осуществляется проход по каждой ветви от её начала, с использованием алгоритма DFS и получая, таким образом, желаемый путь [15]. Когда проход по ветви закончен, происходит возврат к началу и продолжается движение по основному пути. На рисунке 4.б показано, что после описанного процесса полетное задание дополняется ответвлениями.

Результаты и обсуждение. Исходные данные содержали около тысячи значений широты и долготы. Используя DBScan, эти точки собрали в кластеры. Алгоритм MST позволил создать график с наименьшими возможными краями. Окончательный путь был собран с использованием алгоритма DFS.



Рисунок 5 – Полетное задание, нанесенное на карту

Figure 5 – Flight task mapped

Результатом обработки представленных данных является файл с расширением .kml. Здесь содержится информация о точках, расположенных в последовательности для выполнения полетного задания. Этот файл позволяет импортировать данные в QGroundControl или любую другую программу для работы с полетными заданиями. На рисунке 5 показана последовательность точек, расположенных на карте.

На текущем этапе алгоритм генерирует траекторию для квадрокоптера, то есть не учитывает радиус поворота и другие особенности различных беспилотных летательных аппаратов. По этой причине использование беспилотников типа VTOL возможно только после корректировки полетного задания. В рамках проведенного исследования пилотам VTOL пришлось корректировать задание вручную, создавая петли, чтобы показать самолету путь для изменения траектории. В будущем планируются различные улучшения, включая возможность учитывать желаемую точку взлета и посадки, радиус разворота, запас хода и другие.

Заключение. Квадрокоптеры, VTOL и другие беспилотные летательные аппараты все чаще используются для наблюдения за местностью. Мониторинг полей, сельскохозяйственных угодий, лесов и инфраструктуры является типичной задачей для беспилотников. Способность беспилотных летательных аппаратов автономно выполнять задачи, а также добираться в труднодоступные места способствует замене человеческого труда. Однако для применения БПЛА в больших масштабах требуется разработка программных средств, автоматизирующих планирование работы аппаратов.

В представленном исследовании была выполнена обработка большого массива точек на карте, не связанных между собой. Были разработаны алгоритмы и реализовано программное обеспечение для автоматической генерации полетного задания с последовательным набором координат на базе методов DBScan для кластеризации, MST для поиска графа с минимальными ребрами и DFS для построения пути. Разработанное программное решение позволяет сохранять данные в файлы формата kml, предназначенного для загрузки в систему управления БПЛА.

Результаты работы были апробированы в центре беспилотных технологий ЦНТИ «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» и получили высокую оценку пилотов БПЛА. Полученные выводы и рекомендации планируется использовать в дальнейшей работе для расширения функциональности описанного метода.

Conclusions. Quadcopters, VTOL, and other drones are increasingly being used to monitor the terrain. The ability of UAVs to perform tasks autonomously, as well as to get to hard-to-reach places contributes to automation and replacement of human labor. Our team got the task of processing a large, unrelated array of points on the map. These points represent data on the location of the transmission line support.

To perform the scan, you need to create a flight mission a sequential set of coordinates. Such a set will allow you to create the trajectory of the drone. We placed it in a kml file. The unorganized data set was processed by us using DBScan for clustering, MST for finding a graph with minimal edges, and DFS for building a path.

The results of the work were tested in the center of unmanned technologies CNTI "Technologies of robotics and mechatronics components" and were highly appreciated by UAV pilots. The obtained conclusions and recommendations are planned to be used in further work to expand the functionality of the described method.

Библиографический список

1. Куличкова Е. М. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА): проблемы и направления использования в сельском хозяйстве. Материалы V Международной научно-практической конференции «Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК». 2021. С. 140.
2. Захарцев С. И., Литвинов Н. Д., Сальников В. П., Чернявский В. С. Искусственный интеллект в механизме развития человеческой цивилизации. Юридическая наука: история и современность. 2021. № 4. С. 47-73.

3. Velusamy P., Rajendran S., Mahendran R. K., Naseer S., Shafiq M., Choi J. G. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in precision agriculture: Applications and challenges. *Energies*. 2021. V. 15. P. 217.
4. Lin Yi-Chun, Habib A. Quality control and crop characterization framework for multi-temporal UAV LiDAR data over mechanized agricultural fields. *Remote Sensing of Environment*. 2021. V. 256. P. 112299.
5. Fareed N., Flores J. P., Das A. K. Analysis of UAS-LiDAR Ground Points Classification in Agricultural Fields Using Traditional Algorithms and PointCNN. *Remote Sensing*. 2023. V. 15.2. P. 483.
6. Ding Y., Cao R., Liang S., Qi F., Yang Q., Yan W. Density-based optimal UAV path planning for photovoltaic farm inspection in complex topography. 2020 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). IEEE. 2020. Pp. 3931–3936.
7. Gao M. J., Yan T., Li Q. Ch., Fu W. X., Feng Z. F. Path Planning of Improved RRT* Based on DBSCAN Algorithm. *International Conference on Autonomous Unmanned Systems*. Springer. 2022. Pp. 1973–1984.
8. Guo Y., Liu X., Liu X., Yang Y., Zhang W. FC-RRT*: An improved path planning algorithm for UAV in 3D complex environment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022. V. 11.2. P. 112.
9. Dhulkefl E. J., Durdu A. et al. Path planning algorithms for unmanned aerial vehicles. *Int. J. Trend Sci. Res. Dev*. 2019. V. 3.4. Pp. 359–362.
10. Kong J. et al. Research on UAV scheduling problem in fire. *Geoscience*. 2021. V. 4. Pp. 21–24.
11. Feng L., and Katupitiya J. UAV-based persistent full area coverage with dynamic priorities. *Robotics and Autonomous Systems*. 2022. V. 157. P. 104244.
12. Jarvis J. P., Whited D. E. Computational experience with minimum spanning tree algorithms. *Operations Research Letters*. 1983. V. 2.1. Pp. 36–41.
13. Debnath S. K., Omar R., Nor Badariyah Abdu Latip, Shelyna Sh., Nadira E., Melor Ck., Chakraborty T. K., Natarajan E. A review on graph search algorithms for optimal energy efficient path planning for an unmanned air vehicle. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2019. V. 15.2. Pp. 743–749.
14. Tang G., Tang C., Zhou H., Claramunt Ch., Men S. R-DFS: A coverage path planning approach based on region optimal decomposition. *Remote Sensing*. 2021. V. 13.8. P. 1525.
15. Baswana S., Goel A., Khan Sh. Incremental DFS algorithms: a theoretical and experimental study. *Proceedings of the Twenty-Ninth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*. SIAM. 2018. Pp. 53–72.

References

1. Kulichkova E. M. Unmanned aerial vehicles (BpLA): problems and directions of use in agriculture. *Materials of the V International Scientific and Practical Conference "Economic and Mathematical Methods of Analyzing the Activities of Agro-Industrial Complex Enterprises."* 2021. P. 140.
2. Zakhartsev S. I., Litvinov N. D., Salnikov V. P., Chernyavsky V. S. Artificial intelligence in the mechanism of development of human civilization. *Legal Science: History and Modernity*. 2021. № 4. Pp. 47-73.
3. Velusamy P., Rajendran S., Mahendran R. K., Naseer S., Shafiq M., Choi J. G. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in precision agriculture: Applications and challenges. *Energies*. 2021. V. 15. P. 217.
4. Lin Yi-Chun, Habib A. Quality control and crop characterization framework for multi-temporal UAV LiDAR data over mechanized agricultural fields. *Remote Sensing of Environment*. 2021. V. 256. P. 112299.
5. Fareed N., Flores J. P., Das A. K. Analysis of UAS-LiDAR Ground Points Classification in Agricultural Fields Using Traditional Algorithms and PointCNN. *Remote Sensing*. 2023. V. 15.2. P. 483.
6. Ding Y., Cao R., Liang S., Qi F., Yang Q., Yan W. Density-based optimal UAV path planning for photovoltaic farm inspection in complex topography. 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). IEEE. 2020. Pp. 3931–3936.

7. Gao M. J., Yan T., Li Q. Ch., Fu W. X., Feng Z. F. Path Planning of Improved RRT* Based on DBSCAN Algorithm. International Conference on Autonomous Unmanned Systems. Springer. 2022. Pp. 1973–1984.
8. Guo Y., Liu X., Liu X., Yang Y., Zhang W. FC-RRT*: An improved path planning algorithm for UAV in 3D complex environment. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. V. 11.2. P. 112.
9. Dhulkefl E. J., Durdu A. et al. Path planning algorithms for unmanned aerial vehicles. Int. J. Trend Sci. Res. Dev. 2019. V. 3.4. Pp. 359–362.
10. Kong J. et al. Research on UAV scheduling problem in fire. Geoscience. 2021. V. 4. Pp. 21–24.
11. Feng L., and Katupitiya J. UAV-based persistent full area coverage with dynamic priorities. Robotics and Autonomous Systems. 2022. V. 157. P. 104244.
12. Jarvis J. P., Whited D. E. Computational experience with minimum spanning tree algorithms. Operations Research Letters. 1983. V. 2.1. Pp. 36–41.
13. Debnath S. K., Omar R., Nor Badariyah Abdu Latip, Shelyna Sh., Nadira E., Melor Ck., Chakraborty T. K., Natarajan E. A review on graph search algorithms for optimal energy efficient path planning for an unmanned air vehicle. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2019. V. 15.2. Pp. 743–749.
14. Tang G., Tang C., Zhou H., Claramunt Ch., Men S. R-DFS: A coverage path planning approach based on region optimal decomposition. Remote Sensing. 2021. V. 13.8. P. 1525.
15. Baswana S., Goel A., Khan Sh. Incremental DFS algorithms: a theoretical and experimental study. Proceedings of the Twenty-Ninth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. SIAM. 2018. Pp. 53–72.

Информация об авторах

Остапович Олег Сергеевич, инженер, Университет Иннополис (Российская Федерация, 420500, Татарстан, Верхнеуслонский район, г. Иннополис, ул. Университетская, д. 1), e-mail: o.ostapovich@innopolis.university.

Вишневский Марк Романович, инженер, Университет Иннополис (Российская Федерация, 420500, Татарстан, Верхнеуслонский район, г. Иннополис, ул. Университетская, д. 1), e-mail: m.vishnevskiy@innopolis.university

Author's Information

Ostapovich Oleg Sergeevich, engineer, Innopolis University (Russian Federation, 420500, Tatarstan, Verkhneuslonsky district, Innopolis, Universitetskaya St., 1), e-mail: o.ostapovich @ innopolis.university

Vishnevsky Mark Romanovich, engineer, Innopolis University (Russian Federation, 420500, Tatarstan, Verkhneuslonsky district, Innopolis, Universitetskaya St., 1), e-mail: m.vishnevsky @ innopolis.university

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

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

В. Н. Щедрин, Л. Н. Медведева, А. А. Куприянов Интенсификация яблоневых садов в Волго-Донском междуречье V. N. Shchedrin, L. N. Medvedeva, A. A. Kupriyanov Intensification of apple orchards in the Volga-Don interfluvial region.....	13
А. В. Зеленец, О. Г. Чамурлиев, И. Н. Маркова, П. А. Смутнев, В. И. Филин Оценка эффективности сортов яровой мягкой пшеницы в Нижнем Поволжье A. V. Zelenev, O. G. Chamurliiev, I. N. Markova, P. A. Smutnev, V. I. Filin Evaluation of the efficiency of spring soft wheat varieties in the Lower Volga region.....	28
Н. И. Лебедь, К. Е. Токарев, С. Д. Фомин Проектирование и компьютерная реализация комплекса программ для интеллектуального мониторинга роста и развития агробиоценозов в условиях их контролируемого выращивания N. I. Lebed, K. E. Tokarev, S. D. Fomin Design and implementation of software modules for automated control and monitoring of the state of agrophytocenoses in conditions of virus-free seed production, as well as the ability to study plant growth and development using a neural network.....	38
А. Ю. Москвичев, С. А. Агапова Биологическая активность почвы в связи с предпосевной инокуляцией семян сои на двух режимах орошения светло-каштановой почвы A. Yu. Moskvichev, S. A. Agapova Soil biological activity in connection with pre-sowing inoculation of soybean seeds in two irrigation modes of light chestnut soil.....	49
Н. Ю. Петров, В. И. Филин, Г. С. Егорова, И. А. Беляев, О. Г. Чамурлиев Минеральное питание в посевах ярового ячменя на юге России N. Y. Petrov, V. I. Filin, G. S. Egorova, I. A. Belyaev, O. G. Chamurliiev Mineral nutrition in spring barley crops in the south of Russia.....	58
В. И. Филин, Н. Ю. Петров, Г. С. Егорова, И. А. Беляев, Е. Н. Ефремова Технологические аспекты формирования урожайности ярового ячменя в зоне каштановых почв Волгоградского региона V. I. Filin, N. Yu. Petrov, G. S. Egorova, I. A. Belyaev, E. N. Efremova Technological aspects of Spring Barley Yield Formation in the Chestnut Soil Zone of the Volgograd Region	65
О. Г. Чамурлиев, А. Н. Сидоров, Г. О. Чамурлиев, С. М. Григоров, В. К. Согомонян Водный режим почвы и водопотребление сои в зависимости от основной обработки почвы в условиях орошения Волгоградской области O. G. Chamurliiev, A. N. Sidorov, G. O. Chamurliiev, S. M. Grigorov, V. C. Soghomonyan Soil water regime and water consumption of soybeans depending on the main tillage under irrigation conditions in the Volgograd region.....	72
А. Х. Абазов, С. С. Басиев, М. Дз. Газдаров, А. И. Сарбашева Селекция картофеля по хозяйственно-ценным признакам для условий Северо-Кавказского региона A. H. Abazov, S. S. Basiev, M. D. Gazdarov, A. I. Sarbasheva Potato breeding according to economically valuable characteristics for the conditions of the North Caucasus region.....	81

Т. Н. Васильева, А. А. Мушинский, А. Ж. Саудабаева Изучение влияния климатических параметров на урожайность картофеля в орошаемых условиях степной зоны Южного Урала T. N. Vasilyeva, A. A. Mushinskiy, A. Zh. Saudabaeva Study of the influence of climatic parameters on the yield of potatoes under irrigated conditions of the steppe zone of the Southern Urals.....	93
В. В. Вишнякова Пространственно-временной анализ трансформации биоресурсной коллекции кластерного дендрологического парка «ВНИАЛМИ» V. V. Vishnyakova Spatio-time analysis of the transformation of the cluster arboretum park «VNIALMI» bioreresource collection.....	102
О. Г. Гиченкова, Ю. А. Лаптина, П. С. Маликова, У. А. Лаптина Эколого-географическое испытание сортов картофеля с пигментированной окраской мякоти O. G. Gichenkova, Yu. A. Laptina, P. S. Malikova, U. A. Laptina Ecological and geographical testing of potato varieties with pigmented flesh color.....	112
О. С. Гречишкина, А. А. Новикова Оценка сортов ярового ячменя оренбургской селекции по ряду хозяйственно-ценных признаков O. S. Grechishkina, A. A. Novikova Evaluation of spring barley varieties of Orenburg selection by a number of economically Valuable characteristics.....	124
А. В. Гулин, В. А. Мачулкина, М. В. Муканов Конвейерное поступление урожая перца сладкого A. V. Gulin, V. A. Machulkina, M. V. Mukanov Conveyor arrival of the sweet pepper harvest.....	133
Л. А. Косых, Ю. Ю. Никонорова, А. В. Шиповалова, Н. Н. Ермилина Изучение засухоустойчивости сортов ярового ячменя на ранних этапах онтогенеза L. A. Kosykh, Yu. Yu. Nikonorova, A. V. Shipovalova, N. N. Ermilina Study of drought resistance of spring barley varieties at the early stages of ontogenesis.....	142
Т. В. Сачивко, В. Н. Босак, Г. С. Егорова, А. И. Ряднов, Л. В. Лебедева Оценка новых сортов <i>Origanum vulgare</i> L. по хозяйственно-полезным признакам T. V. Sachivko, V. N. Bosak, G. S. Egorova, A. I. Ryadnov, L. V. Lebedeva Evaluation of new varieties of <i>Origanum vulgare</i> L. on economically useful grounds.....	151
Л. Ф. Сыркина, О. Н. Антимонова, О. А. Малахова, Ю. Ю. Никонорова Оценка биологической ценности белка зерна сорго зернового разных сортов L. F. Syrkina, O. N. Antimonova, O. A. Malakhova, Y. Y. Nikonorova Assessment of the biological value of sorghum grain protein of different varieties.....	159
Г. А. Сурхаев, Г. М. Сурхаева Рост и долголетие вяза приземистого на неоднородных экотопах песков Западного Прикаспия G. A. Surkhaev, G. M. Surkhaeva Growth and longevity of squat elm on heterogeneous ecotopes of Western Caspian sands.....	168
А. Х. Занилов, С. Р. Конова, А. М. Лешкенов, М. Р. Азнаева, М. З. Нагоева, Д. Г. Дударова Влияние сочетания микробиологических и минеральных удобрений на биологические показатели чернозема обыкновенного A. Kh. Zanirov, S. R. Konova, A. M. Leshkenov, M. R. Aznaeva, M. Z. Nagoeva, D. G. Dudarova Influence of the combination of microbiological and mineral fertilizers on the biological indicators of ordinary chernozem.....	176

И. И. Климова, Е. В. Ячmeneва

Продуктивность и качество зеленой массы сафлора красильного в богарных условиях северного Прикаспия

I. I. Klimova, E. V. Yachmeneva

Productivity and quality of the green mass of safflower dye in the rich cultivation conditions of the northern Caspian.....

186

Т. С. Бабакова, Н. П. Фефелова, М. С. Какоткина, С. В. Матвеева,

А. А. Васильева, А. С. Попова, В. Г. Зайцев

Скрининг проростков *Robinia pseudoacacia* L. на устойчивость к солевому стрессу для последующего выявления устойчивых генотипов молекулярно-генетическими методами

T. S. Babakova, N. P. Fefelova, M. S. Kakotkina, S. V. Matveeva, A. A. Vasilieva,

A. S. Popova, V. G. Zaitsev

Screening *Robinia pseudoacacia* L. seedlings for salt stress resistance for subsequent detection of resistant genotypes by molecular genetic methods.....

192

А. А. Выприцкий

Геоинформационный анализ расположения государственных защитных лесных полос на территории Саратовской области

A. A. Vypritskiy

Geoinformation analysis of the location of state protective forest belts on the territory of the Saratov region.....

203

Е. Л. Гричик, О. О. Жолобова, А. В. Солонкин, А. М. Пугачёва, А. И. Беляев

Рентгенографический анализ семенного материала древесных и кустарниковых видов, перспективных в защитном лесоразведении

E. L. Grichik, O. O. Zholobova, A. V. Solonkin, A. M. Pugacheva, A. I. Belyaev

X-ray analysis of seed material of woody and shrub species promising in protective afforestation.....

211

М. В. Петров, Р. Б. Шарипова

Влияние лесных полос на формирование снежного покрова в агролесоландшафтах Приволжской возвышенности

M. V. Petrov, R. B. Sharipova

The influence of forest strips on the formation of snow cover in agroforestry landscapes of the Volga upland.....

223

Т. В. Терещенко, О. О. Жолобова, А. В. Солонкин

Эффективность применения стимуляторов роста при черенковании некоторых видов рода *Lonicera* L., перспективных в защитном лесоразведении

T. V. Tereshchenko, O. O. Zholobova, A. V. Solonkin

Efficiency of application of growth stimulants in cuttings of some species of the genus *Lonicera* L. promising in protective forestry.....

232

ЗООТЕХНИКА И ВЕТЕРИНАРИЯ /

ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, Д. В. Николаев, С. А. Суркова, К. Е. Бадмаева,

В. С. Убушиева, Д. А. Мосолова

Продуктивные качества бычков калмыцкой породы при использовании новой лактулозосодержащей кормовой добавки

I. F. Gorlov, M. I. Slozhenskina, D. V. Nikolaev, S. A. Surkova, K. E. Badmaeva,

V. S. Ubushieva, D. A. Mosolova

Productive qualities of Kalmyk breed young bulls using a new lactulose-containing feed additive...

244

И. Ф. Горлов, Д. В. Николаев, С. А. Суркова, Н. И. Мосолова, В. В. Пономарев,

Е. С. Воронцова

Влияние эколого-аграрных факторов на продуктивность верблюдиц

I. F. Gorlov, D. V. Nikolaev, S. A. Surkova, N. I. Mosolova, V. V. Ponomarev,

E. S. Vorontsova

Influence of ecological and agrarian factors on the productivity of camels.....

253

М. И. Сложенкина, И. Ф. Горлов, Д. В. Николаев, С. А. Суркова, Е. С. Воронцова, А. К. Натиров, А. А. Пузанкова Влияние новой добавки «КД-БИШ» на дальнейшую молочную продуктивность коров и качество молока M. I. Slozhenkina, I. F. Gorlov, D. V. Nikolaev, S. A. Surkova, E. S. Vorontsova, A. K. Natyrov, V. A. Puzankova Influence of the new additive "KD-Bish" on further dairy productivity of cows and milk quality.....	261
Д. К. Кулик, А. Т. Варакин, А. А. Ряднов, О. В. Головатюк, Т. С. Самойлова Инновационный подход к совершенствованию состава рационов в промышленном свиноводстве на юге европейской части России D. K. Kulik, A. T. Varakin, A. A. Ryadnov, O. V. Golovatyuk, T. S. Samoylova Innovative approach to improvement composition of diets in industrial pig breeding in the South European part of Russia.....	269
А. Ф. Контэ, И. С. Недашковский, А. А. Сермягин Селекционный индекс быков-производителей черно-пестрой породы популяции Московского региона по признакам молочной продуктивности, воспроизводства и экстерьера дочерей A. F. Conte, I. S. Nedashkovsky, A. A. Sermyagin Selection index of black-and-white breed sires of population in Moscow region on the traits of dairy productivity, reproduction and exterior of daughters.....	278
Б. Н. Старковский, А. Т. Варакин, Г. А. Симонов, С. В. Теребова, А. Г. Симонов, Е. С. Воронцова Сравнительный анализ влияния консерванта SILA-PRIME и добавки кипрея узколистного на силосуемость люцерны изменчивой B. N. Starkovsky, A. T. Varakin, G. A. Simonov, S. V. Terebova, A. G. Simonov, E. S. Vorontsova Comparative analysis of the effect of SILA-PRIME preservative and the addition of fireweed on the silos capacity of alfalfa changeable.....	291
В. Р. Харзинова, О. А. Кошкина, А. В. Доцев, Н. А. Зиновьева Генетическое разнообразие региональных популяций северного оленя на основе анализа гена <i>CytB</i> митохондриальной ДНК V. R. Kharzinova, O. A. Koshkina, A. V. Dotsev, N. A. Zinovieva Genetic diversity of regional reindeer populations based on mitochondrial DNA <i>CytB</i> gene analysis	300
К. Г. Кузнецова, Е. В. Мечтаева, А. З. Журавлева, А. Д. Чернов, Г. П. Котова, В. Ю. Ситнов, Д. С. Рябухин Влияние противопаразитарного ветеринарного препарата на выживаемость и прирост биомассы личинок <i>Hermetia illucens</i> K. G. Kuznetsova, E. V. Mechtaeva, A. Z. Zhuravleva, A. D. Chernov, G. P. Kotova, V. Yu. Sitnov, D. S. Ryabukhin Effect of antiparasitic veterinary drug on survival and biomass rate of <i>Hermetia</i> <i>illucens</i> larvae.....	308
К. Ю. Тарасова, Н. Н. Швецов, С. В. Чехранова, С. И. Николаев, Н. Г. Чамурлиев Использование премикса «РумиМикс-3» в составе кормосмеси для сухостойных коров K. Yu. Tarasova, N. N. Shvetsov, S. V. Chekhranova, S. I. Nikolaev, N. G. Chamurliiev Use of the RumiMiks-3 premix as part of feed mixture for non-milking cows.....	319
Е. В. Нещетова Охота как способ управления инвазивными чужеродными видами E. V. Netsvetova Hunting as a way to manage invasive alien species.....	330

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ/
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

В. Н. Щедрин, Л. Н. Медведева, В. В. Конаш В преддверии цикла иссушения: научный подход к обоснованию мелиорации земель на Алтае V. N. Shchedrin, L. N. Medvedeva, V. V. Konash On the eve of the drying cycle: a scientific approach to the justification of land irrigation in Altai.....	342
А. Ю. Брюханов, Э. В. Васильев, Э. А. Папушин Цифровой инструмент для определения негативного воздействия сельскохозяйственного производства на водные объекты A. Yu. Briukhanov, E. V. Vasilev, E. A. Papushin Digital tool for estimating the negative impact of agricultural production on water bodies.....	357
И. Б. Борисенко, Д. В. Скрипкин, М. В. Мезникова, О. Н. Роменская, А. Н. Сидоров, Е. В. Гагарина Разработка и обоснование применения зажима корпуса распылителя в технологии полосового дифференцированного опрыскивания I. B. Borisenko, D. V. Skripkin, M. V. Meznikova, O. N. Romenskaya, A. N. Sidorov, E. V. Gagarina Development and justification of the application of the clamp of atomizer body clamp in strip differential spraying technology.....	367
Е. П. Боровой, О. Н. Вольская, С. М. Григоров, А. А. Чураков, Л. В. Камышанова Улучшение качества оросительной воды методом вакуумной обработки E. P. Borovoy, O. N. Volskaya, S. M. Grigоров, A. A. Churakov, L. W. Kamyschanova Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment.....	379
Н. С. Воробьева, А. Х. Гафиятуллин, Н. Г. Шаронов, А. В. Малолетов Перспективы роботизации процедуры микроклонального размножения растений N. S. Vorobeve, A. Kh. Gafiatullin, N. G. Sharonov, A. V. Maloletov Prospects of robotization of the procedure of microclonal propagation of plants.....	388
Д. С. Галич, Ю. А. Швабауэр, С. И. Субботин, Д. С. Губайдулин Снижение тягового сопротивления чизельных орудий D. S. Galich, Yu. A. Shvabauer, S. I. Subbotin, D. S. Gubaidulin Reduction of traction resistance of chisel guns.....	398
Д. А. Нехорошев, В. Е. Бердышев, Н. Д. Нехорошев, Д. Д. Нехорошев Агротехнические методы борьбы с сорной растительностью D. A. Nekhoroshev, V. E. Berdyshev, N. D. Nekhoroshev, D. D. Nekhoroshev Agrotechnical methods of weed control.....	409
А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова, Е. П. Боровой, И. С. Белоусов Нейро-аналитическое прогнозирование урожайности при программируемом возделывании сельскохозяйственных культур с учетом агротехнологических факторов A. F. Rogachev, E. V. Melikhova, E. P. Borovoy, I. S. Belousov Neuro-analytical forecasting of yield in programmed cultivation of agricultural crops taking into account agrotechnological factors.....	418
А. И. Ряднов, Р. В. Любимов, А. В. Федоров, С. М. Воронин Оценка производительности и безотказности погрузчика-транспортировщика рулонов сена A. I. Ryadnov, R. V. Lyubimov, A. V. Fedorov, S. M. Voronin Performance and uptime assessment loader-transporter of hay rolls.....	427

В. А. Смелик, С. Д. Фомин, А. М. Захаров, А. Н. Перекопский Эффективность применения системы точного земледелия при предпосевной обработке почвы	
V. A. Smelik, S. D. Fomin, A. M. Zakharov, A. N. Perekopskiy The efficiency of precision farming system application in pre-sowing tillage.....	441
А. А. Ткачев, Н. А. Шелестова, С. Ю. Пазынич, К. И. Ключенко Анализ природных условий и современное состояние порталов тоннеля Донского магистрального канала	
A. A. Tkachev, N. A. Shelestova, S. Yu. Pazynych, K. I. Klyuchenko Analysis of natural conditions and the current state of the portals of the tunnel of the Don main canal.....	449
М. Н. Шапров, А. В. Седов, И. С. Мартынов, В. Е. Бердышев, Д. А. Нехорошев Результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств плетей бахчевых культур	
M. N. Shaprov, I. S. Martynov, A. V. Sedov, V. E. Berdyshev, D.A. Nekhoroshev Results of experimental studies of physical and mechanical properties of melon crop lashes.....	460
А. Б. Саршаева, А. Б. Далабаев, Н. Е. Альжаксина Медико-биологические исследования по изучению влияния на уровень липидов растительного масла со сниженным содержанием глицидиловых эфиров	
A. B. Sarshaev, A. B. Dalabayev, N. E. Alzhaxina Biomedical research to study the effect on the lipid level of vegetable oil with a reduced content of glycidyl esters.....	470
А. М. Анохин, А. А. Ткачев, А. В. Степкин Увеличение рыбопродуктивности реки Дон и рациональное использование водных ресурсов	
A. M. Anokhin, A. A. Tkachev, A. V. Stepkin Increasing the fish productivity of the Don river and rational use of water resources.....	479
Е. В. Васильева, В. М. Федоров Элементы из бетона на некондиционных заполнителях для проводящей сети мелиоративных систем	
E. V. Vasilyeva, V. M. Fedorov Concrete elements on off-grade aggregates for conductive network of reclamation systems.....	487
М. А. Денисова, А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, О. В. Бочарникова, О. В. Козинская, Е. В. Пустовалов Сравнительная оценка реагента на основе различных катализаторов, применяемых для очистки сточных вод	
M. A. Denisova, A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, O. V. Bocharnikova, O. V. Kozinskaya, E. V. Pustovalov Comparative evaluation of a reagent based on various catalysts used for wastewater treatment.....	500
А. И. Кабылда, А. С. Кажыбекова, Ж. З. Уразбаев, Н. М. Керимбекова Оптимизация процесса сушки безглютеновых макаронных изделий из нетрадиционного мучного сырья: математическое моделирование	
A. I. Kabylda, A. S. Kazhybekova, Zh. Z. Urazbayev, N. M. Kerimbekova Optimization of the drying process of gluten-free pasta from non-traditional flour raw materials: mathematical modeling.....	507
О. В. Козинская, А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, С. В. Тронеv, О. В. Бочарникова, М. А. Денисова, Е.П. Боровой Оптимизация конструктивных параметров широкозахватной дождевальной техники	
O. V. Kozinskaya, A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, S. V. Tronev, O. V. Bocharnikova, M. A. Denisova, E.P. Borovoy Optimization of design parameters of wide-grip sprinkler equipment.....	518

Т. Ю. Миронова, В. В. Гордеев, С. В. Ковалёв, Т. И. Гордеева Расход воды для уборки доильного зала типа «Карусель» T. Yu. Mironova, V. V. Gordeev, S. V. Kovalev, T. I. Gordeeva Cleaning water consumption in milking parlours Carousel.....	528
В. М. Помогаев Концептуальная модель методологии прогнозного обслуживания сельскохозяйственных машин V. M. Pomogaev Conceptual model of methodology for predictive maintenance of agricultural machinery.....	538
Г. Н. Темасова, О. А. Леонов, А. Н. Самордин, Д. О. Леонов Дефектация шатунных и коренных шеек коленчатого вала G. N. Temasova, O. A. Leonov, A. N. Samordin, D. O. Leonov Fault detection of connecting journals and main journals of the crankshaft.....	547
В. Г. Хамуев, С. А. Герасименко Разработка вероятностной математической модели процесса сепарации семян сои в гравитационной колонке V. G. Khamuev, S. A. Gerasimenko Development of a probabilistic mathematical model of the soybean seed separation process in a gravity column	555
А. Б. Далабаев, А. Б. Саршаева Исследование физико-химических показателей растительных масел после дезодорации A. B. Dalabayev, A. B. Sarshaeva Investigation of physico-chemical parameters of vegetable oils after deodorization.....	566
К. С. Дмитриев Испытания аккумуляторных батарей для работоспособности электропривода транспортного средства K. S. Dmitriev Testing the performance of vehicle electric drive batteries.....	574
А. С. Мясников, С. Д. Фомин Полевые исследования опорной проходимости экспериментального транспортного средства на сухом сыпучем песке A. S. Mясnikov, S. D. Fomin Field studies of the supporting performance of an experimental vehicle on dry bulk sand.....	583
А. В. Цепляев Оптимизация параметров капустоуборочной машины с инерционно-роторным режущим аппаратом A. V. Tseplyaev Optimization of the parameters of a cabbage harvesting machine with an inertial rotary cutting machine.....	595
О. С. Остапович, М. Р. Вишневский Алгоритм планирования пути для БПЛА по геометкам O. S. Ostapovich, M. R. Vishnevskiy Path planning algorithm for UAV by geotags.....	606
Содержание	615

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ 2023

**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 – Times New Roman, размер шрифта 12. 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, контактный 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 2023**

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) (izvest-plag@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 – Times New Roman, font size 12. 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 *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 4 (72), 2023

Известия

**Нижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование № 4 (72), 2023**

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 связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

Издается с 1997 г. Выходит 4 раза в год

Подписной индекс ПИ573

Адрес издателя и редакции: 400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.

Электронная почта izvestiya-volgau@mail.ru

Дата выхода 29.12.2023.

Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 448.

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 № 4 (72), 2023**

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 4 times a year.

Subscription Index ПИ573

Address of publisher and editorial staff: 400002, Volgograd, University Avenue, 26

Email izvestiya-volgau@mail.ru

Release Date 29.12.2023.

Edition 1000 (first factory 100). Order 448.

Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price