

ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Отрасли науки:

- сельскохозяйственные науки

- технические науки

Группы специальностей:

06.01.00 Агрономия

06.02.00 Ветеринария и Зоотехния

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

№ 4 (56), 2019

Волгоград
Волгоградский ГАУ
2019

PROCEEDINGS

OF NIZHNEVOLZSKIY AGROUNIVERSITY COMPLEX:

SCIENCE AND HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

Branches of science:

- agricultural sciences

- technical sciences

Groups of specialties:

06.01.00 Agronomy

06.02.00 Veterinary and Zootechnics

05.20.00 Processes and machines of agroengineering systems

№ 4 (56), 2019

Volgograd
Volgograd state agrarian university
2019

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный аграрный
университет

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

**Выпуск № 4 (56), 2019
Отрасли науки:**

- сельскохозяйственные науки
- технические науки

Группы специальностей:

06.01.00 Агрономия
06.02.00 Ветеринария и Зоотехния
05.20.00 Процессы и машины
агроинженерных систем

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**

THE MAGAZINE FOUNDER
Volgograd state
agrarian university

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

**Issue № 4 (56), 2019
Branches of science:**

- agricultural sciences
- technical sciences

Groups of specialties:

06.01.00 Agronomy
06.02.00 Veterinary and Zootechnics
05.20.00 Processes and machines of
agroengineering systems

ИЗВЕСТИЯ

Нижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование

Выпуск № 4 (56), 2019

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 – *Овчинников А.С.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, **академик РАН**, председатель редакционного совета, председатель правления регионального фонда «Аграрный университетский комплекс», ректор Волгоградского ГАУ.

Заместители главного редактора:

Бочарников В.С., доктор технических наук, первый проректор Волгоградского ГАУ;

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

PROCEEDINGS

of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
science and higher vocational education

Issue № 4 (56), 2019

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**

Chief editor – *Ovchinnikov A.S.*, Doctor of Agricultural sciences, Professor, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, the Chairman of editorial board, the Chairman of regional fund «Agrarian university complex», the Rector of the Volgograd state agrarian university.

Deputy chief editor:

Bocharnikov V.S., Doctor of Technical Sciences, First Vice Rector of the Volgograd State Agrarian University;

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

**Международный редакционный совет
научного журнала**

Главный редактор – *Овчинников А.С.*, д.с.-х.н., профессор, академик РАН, председатель редакционного совета, председатель правления регионального фонда «Аграрный университетский комплекс», ректор Волгоградского ГАУ
<http://www.volgau.com/университет/ректор>

Заместитель главного редактора – *Бочарников В.С.*, д.т.н., первый проректор Волгоградского ГАУ
<http://www.volgau.com/университет/органы-управления/ректорат>

Заместитель главного редактора – *Фомин С.Д.*, д.т.н., зав. Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования Волгоградского ГАУ
<http://www.volgau.com/izvestiya>

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
<http://www.timacad.ru/catalog/pps/detail.php?ID=1636>

Зволинский В.П., академик РАН, научный руководитель Прикаспийского НИИ аридного земледелия
<http://pniiaz.ru/rukovodstvo>
<https://ru.wikipedia.org/wiki/>

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

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

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

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

**International Editorial Board
of the Scientific Journal**

Editor-in-Chief - *Ovchinnikov A.S.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Chairman of the Editorial Board, Chairman of the Board of the Regional Fund «Agrarian University Complex», Rector of Volgograd State Agrarian University

Deputy Editor-in-Chief - *Bocharnikov V.S.*, Doctor of Technical Sciences, First Vice Rector of the Volgograd State Agrarian University;

Deputy editor-in-chief - *Fomin S.D.*, Doctor of Technical Sciences, head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems 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 Russian Academy of Sciences**, member of the Bureau of the Branch of the RAS, Russian State Agrarian University named after Timiryazev

Zvolinsky V.P., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, scientific adviser of the Prikaspiysky Research Institute of Arid Agriculture

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

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)

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

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

Рулев А.С., академик РАН, Волгоградский государственный университет
<http://www.volsu.ru/struct/institutes/ien/>

Семененко С.Я., доктор сельскохозяйственных наук, директор Поволжского НИИ эколого-мелиоративных технологий – филиала ФНЦ Агроэкологии РАН
<http://www.volsu.ru/persons/id/?id=000000358>

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)
<http://www.ecinst.org.rs/sites/default/files/page-files/miladin-sevarlic-eng.pdf>

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

Щедрин В.Н., академик РАН, доктор технических наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации

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

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**, Volgograd State University

Semenenko S.Ya., doctor of agricultural sciences, director of the Povolzhsky Research Institute of Ecological and Meliorative Technologies - branch of the Federal Scientific Center of Agroecology (RAS)

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 (Czech Republic)

Shchedrin V.N., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Research Institute for Problems of Land Reclamation

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

Редакционная коллегия научного журнала

Editorial Board of the Scientific Journal

06.01.00 Агрономия

06.01.00 Agronomy

06.01.01 Общее земледелие, растениеводство

06.01.01 General agriculture, crop production

Дубенок Н.Н., академик РАН, член бюро отделения РАН, РГАУ-МСХА

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

Зволинский В.П., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, научный руководитель Прикаспийского НИИ аридного земледелия

Zvolinsky V.P., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, scientific leader of the Caspian Research Institute of Arid Agriculture

Кимсанбаев О.Х., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, компания «Ajlan and Bros. Holding group», Эр-Рияд, Саудовская Аравия

Kimsanbaev O.Kh., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Expert of "Ajlan and Bros. Holding group", Riyadh, Saudi Arabia

Беленков А.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, РГАУ-МСХА

Belenkov A.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian State Agrarian University named after Timiryazev

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

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

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

Zelenev A.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

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

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

06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель (сельскохозяйственные науки)

06.01.02 Land Reclamation, recultivation and protection (agricultural sciences)

Овчинников А.С., академик РАН, д.с.-х.н., профессор, председатель редакционного совета, председатель правления регионального фонда «Аграрный университетский комплекс», ректор Волгоградского ГАУ

Ovchinnikov A.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chairman of the Editorial Board, Chairman of the Board of the Regional Fund «Agrarian University Complex», Rector of Volgograd State Agrarian University

Бородычев В.В., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор филиала Всероссийского НИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

Borodychev V.V., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Director of the branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov

Дубенок Н.Н., академик РАН, член бюро отделения РАН, РГАУ-МСХА

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

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

Мелихов В.В., член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ВНИИОЗ

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

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

Танюкевич В.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова - филиал ДонГАУ

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

06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель (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, первый проректор, Волгоградский ГАУ

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

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

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

06.01.04 Агрохимия

Дронова Т.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ВНИИОЗ

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

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

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 Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Director of All-Russia Scientific Research Institute of irrigated agriculture

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

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

Tanyukevich V.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Novocherkassk Engineering Reclamation Institute named after A.K. Kortunov - branch of Don State Agrarian University

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

06.01.02 Land Reclamation, recultivation and protection (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, First Vice Rector of the Volgograd State Agrarian University;

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

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

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

06.01.04 Agrochemistry

Dronova T.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russia Scientific Research Institute of irrigated agriculture

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

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

06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

Кимсанбаев О.Х., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, компания «Ajlan and Bros. Holding group», Эр-Рияд, Саудовская Аравия

Гурова О.Н., кандидат сельскохозяйственных наук, проректор, Волгоградский ГАУ

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

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

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

06.01.06 Луговоеводство и лекарственные эфирно-масличные культуры

Тютюма Н.В., профессор РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПНИИАЗ

Дронова Т.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ВНИИОЗ

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

06.01.07 Защита растений

Сулаймонов Б.А., академик АН РУз, доктор биологических наук, ректор Ташкентского государственного аграрного университета, г. Ташкент, республика Узбекистан

Родин С.А., академик РАН, зам. директора, Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства

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

Семененко С.Я., доктор сельскохозяйственных наук, директор Поволжского НИИ эколого-мелиоративных технологий – филиала ФНЦ Агроэкологии

Дронова Т.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ВНИИОЗ

06.01.05 Selection and seed production of agricultural plants

Kimsanbaev O.Kh., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Expert of “Ajlan and Bros. Holding group”, Riyadh, Saudi Arabia

Gurova O.N., Candidate of Agricultural Sciences, vice-rector, Volgograd State Agrarian University

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

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

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

06.01.06 Grassland and medicinal essential oilseeds

Tyutyuma N.V., **Professor of RAS**, Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Caspian Research Institute of Arid Agriculture

Dronova T.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russia Scientific Research Institute of irrigated agriculture

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

06.01.07 Plant Protection

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

Rodin S.A., **Academician of the RAS**, Deputy Director, All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry

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

Semenenko S.Ya., Doctor of agricultural sciences, director Povolzhskiy Scientific-research institute of ecological and land-improvement technologies (Federal Research Centre of Agroecology, amelioration and protective afforestation of RAS)

Dronova T.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russia Scientific Research Institute of irrigated agriculture

06.01.08 Плодоводство, виноградарство

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

Тютюма Н.В., профессор РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПНИИАЗ

Пасхалидис Христос, профессор, Почетный профессор, Технологический образовательный институт, г. Каламата, Греция

Подковыров И.Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Волгоградский ГАУ

06.01.09 Овощеводство

Зволинский В.П., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, научный руководитель Прикаспийского НИИ аридного земледелия

Мелихов В.В., член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ВНИИОЗ

Тютюма Н.В., профессор РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПНИИАЗ

06.02.00 Ветеринария и Зоотехния

06.02.01 Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных

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

Веденеев С.А., доктор ветеринарных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Дерезина Т.Н., доктор ветеринарных наук, профессор, Донской государственный технический университет

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

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

06.01.08 Fruit growing, viticulture

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

Tyutyuma N.V., Professor of RAS, Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Caspian Research Institute of Arid Agriculture

Paschalidis Christ, Professor, Emeritus Professor, Technological Educational Institute Of Kalamata, Kalamata, Greece

Podkovyrov I.Yu., Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, Volgograd State Agrarian University

06.01.09 Vegetable-growing

Zvolinsky V.P., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, scientific leader of the Caspian Research Institute of Arid Agriculture

Melikhov V.V., corresponding member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Director of All-Russia Scientific Research Institute of irrigated agriculture

Tyutyuma N.V., Professor of RAS, Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Caspian Research Institute of Arid Agriculture

06.02.00 Veterinary and Zootechnics

06.02.01 Diagnostics of diseases and animal therapy, pathology, oncology and animal morphology

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

Vedeneev S.A., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Derezina T.N., Doctor of Veterinary Science, Professor, Don State Technical University

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

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

Шинкаренко А.Н., доктор ветеринарных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Shinkarenko A.N., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология

06.02.02 Veterinary microbiology, virology, epizootology, mycology with mycotoxicology and immunology

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)

Филиппов Н.В., доктор ветеринарных наук, профессор, зам. директора, Волгоградская областная ветеринарная лаборатория

Filippov N.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Deputy Director, Volgograd Regional Veterinary Laboratory

Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, первый проректор, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины

Sukhinin A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, First Vice-Rector, St. Petersburg State Academy of Veterinary Medicine

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

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

06.02.03 Ветеринарная фармакология с токсикологией

06.02.03 Veterinary pharmacology with toxicology

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

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

Веденеев С.А., доктор ветеринарных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Vedeneev S.A., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

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

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

Шинкаренко А.Н., доктор ветеринарных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Shinkarenko A.N., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

06.02.04 Ветеринарная хирургия

06.02.04 Veterinary surgery

Веденеев С.А., доктор ветеринарных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Vedeneev S.A., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

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

Стекольников А.А., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, ректор, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины

Шинкаренко А.Н., доктор ветеринарных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

06.02.05 Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

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

Филиппов Н.В., доктор ветеринарных наук, профессор, зам. директора, Волгоградская областная ветеринарная лаборатория

Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, первый проректор, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины

06.02.06 Ветеринарное акушерство и биотехника репродукции животных

Авдеенко В.С., доктор ветеринарных наук, профессор, Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова

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

Племяшков К.В., доктор ветеринарных наук, профессор ВНИИ генетики и разведения животных, Санкт-Петербург

Баймишев Х.Б., доктор биологических наук, профессор, Самарская ГСХА

Волхов И.М., доктор биологических наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

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

06.02.07 Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных

Горлов И.Ф., академик РАН, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

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

A.N. Shinkarenko, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

06.02.05 Veterinary sanitation, ecology, zoohygiene and veterinary-sanitary examination

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

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

Filippov N.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Deputy Director, Volgograd Regional Veterinary Laboratory

Sukhinin A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, First Vice-Rector, St. Petersburg State Academy of Veterinary Medicine

06.02.06 Veterinary obstetrics and animal biotechnology

Avdeenko V.S., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova

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

Plemyashkov K.V., Doctor of Veterinary Science, Professor, Institute of Genetics and Animal Breeding, St. Petersburg

Baimishev Kh.B., Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara State Agricultural Academy

Volkhov I.M., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

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

06.02.07 Breeding, selection and genetics of farm animals

Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, scientific supervisor of Volga research Institute of production and processing of meat and dairy products

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

Ранделин А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Филатов А.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов

Горлов И.Ф., академик РАН, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Бабински Лазло, профессор, доктор, директор института кормовых и пищевых биотехнологий, Дебреценский университет (Венгрия)

Николаев С.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Ранделин А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Филатов А.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

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

06.02.09 Звероводство и охотоведение

Николаев С.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

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

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

06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства

Храмцов А.Г., академик РАН, доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный университет

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

Randelin A.V., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Povolzhsky Research Institute of production and processing of meat and milk products

Filatov A.S., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Povolzhsky Research Institute of production and processing of meat and milk products

06.02.08 Feed production, feeding of farm animals and feed technology

Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, scientific supervisor of Volga research Institute of production and processing of meat and dairy products

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

Nikolaev S. I., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Volgograd State Agrarian University

Randelin A.V., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Povolzhsky Research Institute of production and processing of meat and milk products

Filatov A.S., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Povolzhsky Research Institute of production and processing of meat and milk products

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

06.02.09 Fur farming and hunting

Nikolaev S. I., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Volgograd State Agrarian University

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

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

06.02.10 Private animal husbandry, production technology of livestock products

Khramtsov A.G., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, North-Caucasian Federal University

Сложенкина М.И., доктор биологических наук, **профессор РАН**, профессор Волгоградского государственного технического университета, директор Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Бабински Лазло, профессор, доктор, директор института кормовых и пищевых биотехнологий, Дебреценский университет (Венгрия)

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

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

Ранделин А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

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

Филатов А.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

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

Шкаленко В.В., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

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

Бочарников В.С., доктор технических наук, первый проректор, Волгоградский ГАУ

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

Кузнецов Н.Г., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

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

Slokenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, **Professor of the Russian Academy of Sciences**, Professor of Volgograd State Technical University, Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

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

Kohanov M.A., 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

Randelin A.V., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Povolzhsky Research Institute of production and processing of meat and milk products

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

Filatov A.S., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Povolzhsky Research Institute of production and processing of meat and milk products

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

Shkalenko V.V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

05.20.00 Processes and machines of agro-engineering systems

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization

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, First Vice Rector of the Volgograd State Agrarian University;

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

Kuznetsov N.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

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

Цепляев А.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Tseplyaev A.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

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

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

05.20.02 Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

05.20.02 Electrotechnologies and electrical equipment in agriculture

Баев В.И., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Baev V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Кузнецов Н.Г., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Kuznetsov N.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Юдаев И.В., доктор технических наук, профессор, зам. директора, ДонГАУ

Yudaev I.V., Doctor of technical sciences, professor, deputy Director, DonGAU

05.20.03 Технологии и средства технической обслуживания в сельском хозяйстве

05.20.03 Technologies and means of agricultural maintenance

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

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

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

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

Кузнецов Н.Г., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Kuznetsov N.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

******* ИЗВЕСТИЯ *******

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

№ 4 (56), 2019

Известия

**Нижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование № 4 (56), 2019**

Ответственный редактор *Т. В. Черкашина*

Технический редактор *Т. А. Ситникова*

Компьютерная верстка *А. В. Харлашин*

Перевод *Е. А. Сидоровой*

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС9-2014 выдано 06 июня 2007 г.
Нижеволжским управлением Федеральной службы по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.
Издается с 2006 г. Выходит 4 раза в год.

Подписной индекс 31945

Адрес редакции: 400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26

Электронная почта *izvestiya-vgsha@yandex.ru*

Подписано в печать 25.12.2019. Формат 60x84^{1/8}

Усл. печ. л. 41,4. Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 309.

Издательско-полиграфический комплекс Волгоградский ГАУ «Нива»
400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.

* * *

**Proceedings
of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
science and higher vocational education № 4 (56), 2019**

Executive editor *T. V. Tcherkashina*

Technical editor *T. A. Sitnikova*

Desktop publishing *A. V. Kharlashin*

Translation *E. A. Sidorova*

Sertificate of registration ПИ № ФС9-2014 given out 06 June 2007
By Nizhnevolzhskiy administration of the Russian Federal Surveillance Service for Compliance
with the Law in Mass Communications and Cultural Heritage Protection

Published from 2006. It is published 4 times a year.

Subscription zip-code 31945

The magazine office address: 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospect, 26

E-mail: *izvestiya-vgsha@yandex.ru*

Signed in print 25.12.2019. Printing format 60x84^{1/8}

Conventional printed sheets 41,4. Circulation 1000 (initial print run 100). Order 309.

Publishing and printing complex of Volgograd state agrarian university «Niva»
400002, Volgograd, Universitetskiy Prospect, 26.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. АГРОНОМИЯ

УДК 631.6:338.43

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-1

МЕТОДОЛОГИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

THE METHODOLOGY OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL COMPLEX

В. В. Иванов¹, заместитель Губернатора Волгоградской области,
председатель комитета сельского хозяйства Волгоградской области
А. С. Овчинников², академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
С. В. Куприянова³, научный сотрудник, аспирант

V. V. Ivanov¹, **A. S. Ovchinnikov**², **S. V. Kupriyanova**³

¹Комитет сельского хозяйства Волгоградской области

²Волгоградский государственный аграрный университет

³Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск

¹Committee of Agriculture of the Volgograd region

²Volgograd State Agrarian University

³Russian Research Institute of Land Reclamation, Novocherkassk

Дата поступления в редакцию 8.10.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received 8.10.2019

Submitted 20.12.2019

Рассмотрен вопрос необходимости восстановления мелиоративного комплекса. В рамках проведенного ретроспективного анализа мелиоративного земледелия определен новый подход к разделению площадей орошаемых земель по категориям в разрезе собственников орошаемых земель между крупными государственными системами и орошением на местном стоке. Для поиска альтернативных подходов и принципов в вопросе повышения устойчивости АПК России был проведен анализ существующей нормативно-правовой документации, касающейся вопросов повышения инвестиционной привлекательности мелиоративного сектора экономики. Установлено, что для решения задачи восстановления мелиоративного комплекса необходимо обеспечить в полном объеме использование имеющихся мелиорируемых земель, что возможно при внесении существенных изменений в действующее законодательство и разработке соответствующей нормативно-правовой документации по вопросам, касающимся механизмов, способствующих повышению заинтересованности сельхозтоваропроизводителей в использовании орошаемых земель в мелиоративном режиме. Рассмотрена перспектива создания генерирующих мощностей для производства электроэнергии на возобновляемых источниках энергии, а также энергоэффективных оросительных систем при использовании имеющихся перепадов отметок рельефа местности. Проанализированы пример зарубежного опыта и разработки российских ученых, позволяющие использовать работу возобновляемых источников энергии в мелиоративной отрасли, тем самым полностью исключив необходимость подачи электрической энергии из внешних источников.

The article discusses the question of need for restoration of the reclamation complex. As part of a retrospective analysis of reclamation agriculture, a new approach is identified for dividing irrigated land areas into categories by owners of irrigated land between large state systems and irrigation at the local drain. To search for alternative approaches and principles in the matter of increasing the stability of the Russian Agro-industrial Complex, an analysis was made of the existing regulatory and legal documentation regarding the issues of increasing the investment attractiveness of the reclamation sector of the economy. It was established that in order to achieve the task of restoring the reclamation complex, it is necessary to fully utilize the existing reclaimed land, which is possible when significant changes are made to existing legislation, the development of relevant regulatory documents on issues related to mechanisms that increase the interest of agricultural producers in using irrigated land in reclamation mode. The prospect of creating generating capacities for the production of electricity from renewable

energy sources, as well as energy-efficient irrigation systems, using the existing differences in elevation marks, is considered. An example of foreign experience and the development of Russian scientists is analyzed, which allows using the work of renewable energy sources in the reclamation industry

Ключевые слова: мелиорация, восстановление мелиоративного комплекса, орошаемые земли, устойчивое развитие агропромышленного комплекса, нормативно-правовая документация, генерирующие мощности, энергоэффективные оросительные системы.

Key words: reclamation, restoration of the reclamation complex, irrigated land, sustainable development of the agro-industrial complex, regulatory and legal documentation, generating capacities, energy-efficient irrigation systems.

Цитирование. Иванов В. В., Овчинников А. С., Куприянова С. В. Методология устойчивого развития агропромышленного комплекса. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 15-25. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-1.

Citation. Ivanov V. V., Ovchinnikov A. S., Kupriyanova S. V. The methodology of sustainable development of agricultural complex. *Proc. of the Lower Volga Agro University Comp.* 2019. 4(56). 15-25 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-1.

Введение. В экономике России наиболее зависимой от природных изменений является сельскохозяйственная отрасль, устойчивое функционирование которой связано с климатическими рисками. Отличительной особенностью сельскохозяйственного производства являются погодные риски, так как на производство сельскохозяйственной продукции большое влияние оказывают погодные условия. Результат производственно-хозяйственной деятельности в аграрном секторе напрямую зависит от возможности возникновения неблагоприятной ситуации, знания возможных рисков, их предотвращения, возможности сделать правильный выбор управления в различных сложных ситуациях. Неблагоприятные климатические и погодные условия негативно сказываются на урожайности сельскохозяйственных культур, повышаются издержки производства, уменьшаются объемы реализации продукции, а вместе с тем уменьшается размер прибыли и происходит падение общей рентабельности производства продукции сельского хозяйства. Одним из наиболее существенных факторов повышения устойчивости сельскохозяйственного производства является мелиорация, так как ее применение дает возможность влиять на комплекс природных условий, создавать благоприятный для развития растений режим влажности, воздушный, тепловой режимы почв, способствует улучшению природной среды, что позволяет более эффективно использовать земельный фонд и обеспечивает стабильное получение урожая сельскохозяйственных культур. Во всем мире и у нас орошаемые земли позволяют получать гарантированно высокие урожаи сельскохозяйственных культур, что особенно важно в засушливые годы, когда на богарных землях невозможно получить стабильный урожай как зерновых культур, так и овощей, картофеля и других. Для усиления воспроизводительных процессов в сфере агропромышленного комплекса, в том числе и в сельскохозяйственной отрасли, требуются комплексное решение проблем природопользования, рациональное использование природных ресурсов, использование различных видов мелиораций [1].

Цель исследования – обоснование необходимости восстановления мелиоративного комплекса, главным условием при этом является использование в полном объеме имеющихся мелиорированных, в т. ч. орошаемых земель. Представлены данные о наличии и состоянии мелиорируемых земель и оросительных систем. Для выполнения поставленной цели были проведены работы по исследованию категорий орошаемых земель, проведен анализ состояния орошаемых комплексов, а также анализ нормативно-правовой документации, касающейся поставленной цели исследования. Для сопоставления в качестве примера для решения многих проблем в мелиорации представлен

вариант развития мелиоративного комплекса США. Кроме того, восстановление мелиоративного комплекса АПК России повлечет за собой повышение инвестиционной привлекательности мелиоративного сектора экономики [2].

Материалы и методы. В целях реализации государственной экономической политики в области обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации была утверждена Доктрина продовольственной безопасности, Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. N 120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». Доктрина определила, что удельный вес отечественной сельскохозяйственной продукции и продовольствия в общем объеме товарных ресурсов внутреннего рынка должен составлять не менее 95 % по зерну, 85 % по мясу, 90 % по молоку, 80 % по сахару, 80 % по растительным маслам и 95 % по картофелю. Необходимым условием достижения этих показателей является оптимизация землепользования, что предполагает организацию рационального использования земель сельскохозяйственного назначения. Основными направлениями их являются: расширение посевных площадей сельскохозяйственных культур за счет неиспользуемой пашни, повышение плодородия почв, строительство и реконструкция мелиоративных систем для снижения зависимости сельскохозяйственного производства от негативных природных факторов (кроме того, урожайность на орошаемых землях в три-четыре раза выше по сравнению с другими землями).

Сельскохозяйственное производство в Российской Федерации ведется в регионах с различными почвенно-климатическими условиями, при этом более обеспеченная теплом значительная часть территории испытывает недостаток влаги, и в то же время имеются территории, где наблюдается избыточная влажность почв в период вегетации и недостаточная дренированность почвогрунтов. Зональные особенности земледелия определяют роль различных видов мелиорации земель и объясняют тот факт, что для получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур в различных климатических зонах России необходимо проводить комплекс мелиоративных, агротехнических и агрохимических мероприятий. Вариативность урожайности сельскохозяйственных культур на мелиорируемых землях составляет 15–20 %, тогда как на немелиорируемых – 35–40 % [9].

Площадь земельного фонда России составляет 1712,5 млн га, из которых 65,8 % территории занимают леса, 1,6 % земли водного фонда, 5,2 % занимают земли запаса, 1,2 % занимают земли поселений, дороги, 1 % – это земли промышленности и иного специального назначения, 2,8 % – земли особо охраняемых территорий, и только 22,4 % (383,6 млн га) составляют земли сельскохозяйственного назначения, площади их фактического использования в сельскохозяйственном производстве постоянно меняются, 86,4 % (331,4 млн га) – используемые земли сельскохозяйственного назначения.

В соответствии с данными Минсельхоза РФ и Россельхозакадемии, по состоянию на 2018 г., площади сельхозугодий Российской Федерации составляли 197,7 млн га, из них: 116,2 млн га пашни; 57,2 млн га занимают пастбища, 18,7 млн га сенокосы, 1,2 млн га многолетние насаждения и 4,4 млн гектаров относятся к категории залежей. Неиспользуемые площади сельскохозяйственных угодий составляют 31,5 млн га, из них площадь пашни составляет 18,8 млн га.

По расчетам ученых, для получения гарантированных урожаев и уменьшения зависимости от погодных условий в России к 2030 году площадь мелиорированных угодий должна быть увеличена до 18 млн га, в том числе 10 млн га орошаемых земель и 8 млн га осушенных, что составит около 15 % от всей пашни [11].

Ученые пришли к выводу, что глобальное потепление климата на планете является серьезной проблемой как для большинства стран мира, так и для России, так как его влияние на окружающую среду оказывает значительное воздействие на сельское

хозяйство. Климатические изменения требуют обеспечения устойчивой хозяйственной деятельности, разработки стратегии мероприятий для нормального функционирования сельскохозяйственной отрасли и адаптации АПК к глобальному изменению климата с целью поддержания продовольственной безопасности страны. В условиях изменения климата особенно ценной категорией преобразованных земель являются мелиорированные земли. Анализируя сведения о наличии и состоянии мелиорируемых земель в Российской Федерации, можно сделать вывод, что за период с 1990 года по настоящее время в целом произошло ухудшение состояния мелиорируемых земель, значительная часть которых выбыла из оборота и требует реконструкции. По данным Росстата, на 1 января 2018 года в составе земель сельскохозяйственного назначения имелось 11 255,0 тыс. га мелиорируемых угодий, из них 9344,3 тыс. га составили сельскохозяйственные угодья. Орошаемые сельскохозяйственные угодья занимали площадь 4590,6 тыс. га, осушаемые – 4753,7 тыс. га. Хорошее мелиоративное состояние земель наблюдалось на площади 2949,8 тыс. га сельскохозяйственных угодий, удовлетворительное – на площади 3532,9 тыс. га и неудовлетворительное – на площади 2861,6 тыс. га. В составе оросительных систем на площади 2,2 млн га требуется реконструкция и техническое переоснащение, при этом более чем половина (2,4 млн га) нуждается в повышении технического уровня. В регионах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов сосредоточено более 70 % орошаемых земель, которые находятся в неудовлетворительном мелиоративном состоянии. Следует отметить, что вследствие неисправности оросительных систем и отсутствия поливной техники сельскохозяйственными товаропроизводителями не орошается 2,2 млн. га земель, а более 600 тыс. га орошаемых земель не используется в сельскохозяйственном производстве в связи с высоким уровнем грунтовых вод. В неудовлетворительном мелиоративном состоянии находится более трети осушительных систем (1,9 млн га), при этом около 33 % осушительных систем нуждается в реконструкции гидротехнических сооружений и осушительной сети. В регионах Северо-Западного и Центрального федеральных округов свыше 80 % осушенных земель находятся в неудовлетворительном мелиоративном состоянии.

Результаты и обсуждение. В настоящее время в России наиболее актуальным является вопрос восстановления мелиоративного комплекса, который должен стать основным фактором повышения стабильности производства сельскохозяйственной продукции на сельскохозяйственных землях. Все орошаемые земли можно разделить на две основные категории:

1) Первая категория – орошаемые земли, «подвешенные» к государственным оросительным системам с водозаборами, водосбросами, магистральными каналами, межхозяйственной и внутрихозяйственной сетью, которые имеют большое количество различного вида гидротехнических сооружений (ГТС), находящихся в ведении ФГБУ по мелиорации.

2) Вторая категория орошаемых земель, которая расположена на местном стоке, представляет собой отдельные небольшие участки, получающие воду (питающиеся водой) из небольших водоемов, прудов, магистральных рек и естественных понижений, которые заполняются водой в весенний период (лиманы).

В различных регионах России соотношение площадей орошаемых земель между крупными государственными системами и орошением на местном стоке колеблется в пределах от 15 % до 30 %. Восстановление всевозможных видов орошаемых комплексов должно производиться различными способами и методами. Орошение на местном стоке находится в ведомастве региональных (областных, краевых, местных) властей, таким образом, проблема их восстановления во многом зависит от участия в данном процессе как собственников предполагаемых орошаемых участков, так и местных органов

власти (сельских, районных и др.). Решить проблему восстановления данных орошаемых комплексов возможно только при тесном взаимодействии местных властей и местных товаропроизводителей, с учетом экономического обоснования ведения работ по восстановлению этих комплексов, что позволит обеспечить занятость населения и даст возможность производства различного вида товарной продукции. Однако при решении проблемы восстановления крупных орошаемых массивов, получающих воду из государственных оросительных систем, состоящих из водозаборов, крупных магистральных каналов, межхозяйственных каналов и внутрихозяйственной сети, должен быть применен совершенно другой подход. Это связано с тем, что в настоящее время самой болевой точкой в вопросе восстановления крупных мелиоративных систем является отсутствие законодательного механизма по их восстановлению, поскольку собственником всех крупных систем (водозаборов, каналов, межхозяйственной сети) является государство в лице государственных бюджетных учреждений по мелиорации (ФГБУ), которые являются представителями государства по регионам по использованию и эксплуатации этой разветвленной сети. Мелиоративные объекты федеральной собственности включают в себя отдельно расположенные ГТС, не входящие в мелиоративные системы, а также мелиоративные системы, представляющие комплексы взаимосвязанных гидротехнических сооружений и устройств: каналы, коллекторы, трубопроводы, водохранилища, плотины и дамбы, водозаборы, насосные станции – и находятся в оперативном управлении у подведомственных Департаменту мелиорации федеральных государственных бюджетных учреждений (ФГБУ) по мелиорации земель и сельскохозяйводоснабжению, по эксплуатации гидроузлов, водохранилищ и магистральных каналов, с филиалами и эксплуатационными участками. Проведенные в 90-е годы мероприятия (приватизация) привели к тому, что мелиорируемые земли, принадлежащие частным сельхозтоваропроизводителям, получают воду из мелиоративных систем, находящихся в собственности государства. Для комплексного восстановления работы этих систем требуется совместная работа и заинтересованность как государственных структур, управляющих (эксплуатирующих) мелиоративными системами, так и частных сельхозтоваропроизводителей, использующих (а зачастую не использующих) земли в мелиоративном режиме. В настоящее время в стране отсутствует четкий механизм взаимодействия государства, владеющего крупными мелиоративными системами и объектами, и частных землевладельцев, производящих продукцию на ранее мелиорируемых землях. В основу создания подобного механизма должны быть положены законодательные акты о частно–государственном партнерстве. В нашей стране требуется разработка этого механизма на законодательном уровне и его дальнейшее развитие (один из вариантов этого механизма – создание мелиоративных парков).

Анализ мировых тенденций развития мелиорации в различных странах показал, что в качестве примера для решения многих проблем в мелиорации может быть взят вариант развития мелиоративного комплекса США, где существует законодательный механизм государственно-частного сотрудничества. Из истории США мы видим, что в 1902 году была образована Служба мелиорации США, которая подчинялась Геологической службе. В 1907 году было основано независимое Бюро мелиорации в рамках департамента внутренних дел с целью осуществления ирригационных проектов на западе по накоплению воды и орошению. По проектам Бюро мелиорации, которые обеспечивали водой сельское хозяйство, коммунально-бытовые нужды, промышленность для одной третьей населения, орошали около 5 % территории запада, общие инвестиции в 1992 году составляли 11 млрд. долларов. Одновременно с этим Бюро мелиорации обеспечивало воду для одной пятой площади орошаемых земель и являлось главным аме-

риканским производителем электричества. В 1994 году Бюро продекларировало, что «засушливый запад» мелиорирован и основные цели и задачи программы переносятся со строительства на эксплуатацию и содержание существующих сооружений [2, 14].

К компетенции Бюро мелиорации относятся:

- управление водными ресурсами;
- восстановление и защита окружающей среды;
- эксплуатация и содержание сооружений;
- исследование и развитие новых технологий;
- дополнительная деятельность.

Основные функции Бюро мелиорации США:

- самый крупный поставщик воды в США;
- второй по величине производитель электроэнергии в семнадцати западных штатах;

- поставщик воды для фермеров с целью орошения сельхозземель;
- создание рабочих мест;
- защита диких животных и аквакультур;
- создание мест для отдыха населения.

В США применяется доктрина водного права, она представляет систематизированную структурную форму и определяет «меру уверенности» в водоснабжении, а также связанные с ней две основные доктрины – прибрежного и назначенного водопользования. Доктрина назначенного водопользования включает приобретение прав на использование воды через водозабор согласно законодательству, а также их эффективное водопользование на землях, прилегающих к источникам воды или расположенных вне источников воды. Доктрина прибрежного водопользования дает владельцу земель, находящихся на водотоке, право на эффективное использование водных ресурсов (прибрежное право законодательно является при этом частью земель). США принимает решение управлением и распределением водными ресурсами. При этом на Бюро мелиорации возложены полномочия управления мелиоративными системами (согласно акту о мелиорации), обязательства получения прав на воду. Мелиоративная система предоставляет воду водным округам, используя долгосрочные контракты двух типов, это:

- контракт об оплате (является единовременным), который представляет собой соглашение между государством и лицом получающим воду, подаваемую на орошение земель и обязующимся осуществлять оплату расходов на строительство, относящихся к орошению;

- контракт на водные услуги (перезаключается вплоть до окупаемости системы и включает в себя процент от прибыли) между государством и потребителем, получающим воду на орошение, в котором лицо, получающее воду, обязуется оплачивать долю ежегодных расходов на эксплуатацию, а также строительство и реконструкцию оросительных систем.

Наряду с этим мелиоративная система берет на себя обязательство обеспечить необходимую подачу воды в обмен на оплату указанных расходов. Вместе с тем ирригационные сооружения являются собственностью правительства, которое выполняет функции поставщика и распространителя водных ресурсов с правом получать суммы покрытия расходов на строительство и эксплуатацию сооружений, а права на воду (согласно акту о мелиорации) являются собственностью землевладельцев.

Министерством внутренних дел изданы «Принципы управления добровольными сделками по водным ресурсам, вовлекающие или оказывающие воздействие на сооружения, принадлежащие или эксплуатируемые министерством внутренних дел» для ру-

ководства при совершении водных сделок при условии их соответствия федеральным законам и законам штатов. В свою очередь, для их реализации Бюро мелиорации распространило «Критерии и управление добровольными водными сделками» [2, 14].

Из проведенного нами анализа работы Бюро мелиорации в США мы видим, что одной из основных функций его деятельности является производство электроэнергии. Исследования ученых ФГБНУ «РосНИИПМ» показали, что в предгорных зонах РФ расположено более 6 млн. га орошаемых земель со значительными перепадами отметок рельефа местности, поэтому при проведении реконструкции оросительных систем в этих районах следует внедрять мини- и микроГЭС в закрытых деривационных водотоках (трубопроводах), позволяющих использовать кинетическую энергию водного потока, гасимую до реконструкции водобойными колодцами, водобойными стенками, гасителями-рассекателями и водобойными порогами, которую можно преобразовать в электрическую и использовать для регулирования процессов водоподачи, водораспределения, управления автоматизацией мелиоративных систем, в том числе насосных станций и при работе поливной техники без использования внешних источников электроэнергии [5, 6, 8, 12, 13, 15, 16]. Таким образом, используя гидроэнергетический потенциал мини- и микроГЭС, возможно обеспечивать работу различной дождевальной техники. В РосНИИПМ имеются разработки и изобретения дождевальных машин, управление работой, перемещение и навигация которых осуществляется за счет электрической энергии, вырабатываемой микроГЭС, путем использования напора воды в трубопроводе, поддерживаемого за счет перепада местности [3, 10].

Пример зарубежного опыта и разработки российских ученых позволили использовать работу возобновляемых источников энергии в мелиоративной отрасли и тем самым полностью исключить необходимость подачи электрической энергии из внешних источников [4, 7]. В настоящее время для развития и внедрения в мелиорацию гидроэнергетики необходима разработка нормативно-правовой базы на законодательном уровне при поддержке государства.

Проведенный анализ законодательных актов показал, что в 2008 году Указом Президента РФ от 04.06.2008 г. №889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» была поставлена цель снизить энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) к 2020 году не менее, чем на 40 % (от уровня 2007 года). С целью создания правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности был принят Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который регулирует отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

В рамках выполнения вышеназванного закона будут осуществляться следующие задачи:

- разработка и реализация федеральных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- координация мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и контроль за их проведением федеральными государственными учреждениями, федеральными государственными унитарными предприятиями, государственными компаниями, государственными корпорациями, а также юридическими лицами, имущество которых либо более чем пятьдесят процентов акций, либо доля в уставном капитале, которая принадлежат государственным корпорациям;
- установление требований энергетической эффективности товаров, работ, услуг для обеспечения государственных или муниципальных нужд;
- определение форм и методов государственной поддержки в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и ее осуществление;

– мониторинг и анализ эффективности реализации государственной политики и нормативно-правового регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

С целью выполнения указанных задач была принята государственная программа «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие энергетики» (утвержденная постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. №321), в состав которой включена подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности». Направлением программы является снижение энергоемкости ВВП РФ на 13,5 % за счет реализации включенных в нее мероприятий. При этом Минэкономразвития России разработало «Комплексный план мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики РФ» (утвержденный распоряжением Правительства РФ от 19.04.2018 г. № 703-р), в рамках реализации которого предусмотрены мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности экономики, в том числе на снижение энергоемкости ВВП за счет сокращения технологического отставания страны.

Важными условиями развития российской экономики являются энергосбережение и повышение энергетической эффективности. Технологическая модернизация страны и внедрение инноваций во многих отраслях экономики, в том числе в мелиоративной отрасли, обеспечит существенную экономию энергоресурсов и, как следствие, будет способствовать повышению конкурентоспособности экономики. Ускоренное развитие технологий в мелиоративной отрасли приводит к темпам роста энергопотребления, и пути решения этой проблемы – это развитие и внедрение в мелиорации гидроэнергетики, что позволит решить вопросы энергосбережения и энергетической эффективности, позволит снизить энергоемкость экономики, что соответствует поставленным целям и задачам в рамках программы «Энергоэффективность и развитие энергетики».

Согласно разработанной Правительством РФ «Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р) определены важнейшие задачи развития страны, в том числе:

– расширение производства электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии, без учета крупных и средних ГЭС (с 8 млрд кВт·ч в 2007 году до 80 млрд кВт·ч в 2020 году);

– прирост установленной мощности возобновляемых источников до 22 ГВт к 2020 году без учета гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт;

– обеспечение прироста установленной мощности крупных и средних гидроэлектростанций (свыше 25 МВт) к 2020 году на 25,1 ГВт.

Заключение. Одним из важнейших факторов восстановления мелиоративного комплекса является использование в полном объеме имеющихся мелиорируемых земель, а серьезной проблемой на пути решения этого вопроса является отсутствие необходимых изменений в существующем законодательстве:

– на законодательном уровне необходима разработка нормативно-правовой документации, которая предоставит возможность ФГБУ иметь генерирующие мощности для производства электроэнергии на возобновляемых источниках энергии: на ГЭС и оросительных системах (перепадах, быстотоках) мини- и микроГЭС в закрытых деривационных водотоках (трубопроводах), генерирующих мощности по производству электроэнергии. Вместе с тем сельхозтоваропроизводителям следует дать возможность производить электроэнергию на самих дождевальными машинах, что станет альтернативой получения электроэнергии из внешних источников, этот шаг будет способствовать решению вопроса нежелания сельхозтоваропроизводителя использовать имеющиеся земли в мелиоративном режиме по причине дорогой стоимости электроэнергии;

– необходима разработка правовых механизмов, которые будут способствовать заинтересованности частных сельхозтоваропроизводителей использовать принадлежащие им земли в мелиоративном режиме (в форме субсидий, развития механизмов финансирования мероприятий и проектов в области мелиорации);

– следует внести изменения в действующее законодательство с целью создания возможных вариантов компенсации собственникам этих земель при передаче неиспользуемых в мелиоративном режиме земель в собственность государства для использования данных земель по назначению. При рассмотрении этого вопроса следует обратить внимание на ст. 1 п. 1 п. 6 «Земельного кодекса РФ», согласно которому сохраняется принцип приоритета особо ценных земель и земель особо охраняемых территорий, в соответствии с которым изменение целевого назначения их ограничивается или запрещается в порядке, установленном ФЗ, это имеет прямое отношение к мелиорированным землям в связи с проведенными на них работами по коренному улучшению их качеств (проведенных на них гидротехнических, культуртехнических и других мелиоративных мероприятий). В региональном законодательстве указано, что земли, претерпевшие коренное улучшение, как правило, обладают повышенной хозяйственной ценностью, в соответствии с этим использование особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий для целей, не связанных с ведением сельскохозяйственного производства, не допускается. Таким образом, можно сделать вывод о том, что перевод таких земель в менее ценные земли, в результате чего изменяется их целевое назначение, должен производиться в исключительных случаях. По нашему мнению, следует искать возможные пути решения вопроса перевода этих земель в собственность государства, при неиспользовании собственниками земли в течение трех лет, с целью их дальнейшего использования в мелиоративном режиме, при этом следует учитывать действие Конституции РФ ст. 35, а также действие Гражданского кодекса РФ в части ст. 209 и ст. 238 (право частной собственности, собственность не может быть отчуждена бесплатно). Предложенные мероприятия позволят выработать альтернативные подходы и принципы для повышения устойчивости АПК России за счет восстановления мелиоративного комплекса и повышения инвестиционной привлекательности мелиоративного сектора экономики. При этом возможно использовать опыт развитых стран (США), где Бюро мелиорации производит и использует электроэнергию в своих целях [2, 14].

Библиографический список

1. Адаптация сельского хозяйства России к глобальным изменениям климата / Под ред. члена президиума РАН, академика РАН И. Г. Ушачева и члена-корреспондента РАН А. Г. Папцова. Авторский коллектив: А. Г. Папцов С. А. Шиловская, А. В. Колесников, А. В. Амелин, Л. Ю. Ададимова, В. А. Суровцев // Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства. [Электронный ресурс]. 2015. Режим доступа: <https://www.oxfam.ru/upload/iblock/f96/f9622b41f48549945438f2292f509d14.pdf>.
2. Водное хозяйство Соединенных Штатов Америки // Информационный сборник НИЦ МКВК [Электронный ресурс]. 2001. Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/library/inform.htm>.
3. Дождевальная машина кругового перемещения для горных и предгорных участков местности: пат. №2687003 / Щедрин В. Н., Бондаренко В. Л., Лобанов Г. Л., Бакланова Д. В.; заявка №2018108819. Дата регистрации 12.03.2018; правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» <https://elibrary.ru/item.asp?id=38146410>
4. Концептуальные подходы к созданию систем мониторинга и управления орошением / А. С. Овчинников, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, В. А. Шевченко, О. В. Бочарникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 26-39.
5. Михайлов Л. П., Фельдман Б. Н., Марканова Т. К. Малая гидроэнергетика. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 184 с.
6. Николаев В. Г., Ганага С. В., Вальтер Р. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в России. Результаты проекта TACIS. Москва: Атмограф, 2009. 455 с.

7. 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.

8. Оценка перспектив использования малой гидроэнергетики на оросительных системах для обеспечения внутрисистемных потребностей в электроэнергии / В. Н. Щедрин, Д. В. Бакланова, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 3(27). С. 160–178. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29823000>

9. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России / А. В. Колганов, Н. В. Сухой, В. Н. Шкура, В. Н. Щедрин / под редакцией Академика РАН, доктора технических наук, профессора В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016.

10. Фронтальная дождевальная машина непрерывного действия с автономным энергообеспечением: пат. №2676906 / Щедрин В. Н., Чураев А. А., Снипыч Ю. Ф., Лобанов Г. Л., Вайнберг М. В., Юченко Л. В., Школьная В. М., Кореновский А. М., Куприянов А. А.; заявл. № 2018111173. Дата регистрации 28.03.2018 г. правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ».

11. Щедрин, В. Н., Балакай Г. Т. Состояние и перспективы развития мелиорации земель на юге России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2014. №3 (15). Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22543932>.

12. Щедрин В. Н., Балакай Г. Т. Энергосберегающие технологии – основа успешного развития мелиоративного комплекса страны // Труды VIII Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Ч. 1. М.: ВИЭСХ Россельхозакадемии, 2012. С. 70-75. <https://elibrary.ru/item.asp?id=18076463>.

13. Щедрин В. Н., Гостищев В. Д. Перспективы создания энергоэффективных оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 5. С. 14–19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26301048>.

14. Federal register. The Daily of the United States Government. National archives [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.federalregister.gov/documents/2006/04/17/06-3618/public-conduct-on-bureau-of-reclamation-facilities-lands-and-waterbodies>.

15. Mode of rice drip irrigation / I. P. Kruzhilin, N. N. Dubenok, M. A. Ganiev, A. S. Ovchinnikov, V. V. Melikhov, N. M. Abdou, S. D. Fomin // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. №12(24). P. 7118-7123. Retrieved from www.scopus.com

16. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation / I. P. Kruzhilin, A. S. Ovchinnikov, N. V. Kuznetsova, O. V. Kozinskaya, S. D. Fomin, V. S. Bocharnikov & E. S. Vorontsova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. № 13(13). P. 4181-4184. Retrieved from www.scopus.com

Reference

1. Adaptaciya sel'skogo hozyajstva Rossii k global'nyim izmeneniyam klimata / Pod red. chlenu prezidiuma RAN, akademika RAN I. G. Ushacheva i chlenu-korrespondenta RAN A. G. Papcova. Avtorskiy kollektiv: A. G. Papcov S. A. Shilovskaya, A. V. Kolesnikov, A. V. Amelin, L. Yu. Adadimova, V. A. Surovcev // Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut jekonomiki sel'skogo hozyajstva. [Jelektronnyj resurs]. 2015. Rezhim dostupa: <https://www.oxfam.ru/upload/iblock/f96/f9622b41f48549945438f2292f509d14.pdf>.

2. Vodnoe hozyajstvo Soedinennyh Shtatov Ameriki // Informacionnyj sbornik NIC MKVK [Jelektronnyj resurs]. 2001. Rezhim dostupa: <http://www.cawater-info.net/library/inform.htm>.

3. Dozhdeval'naya mashina krugovogo peremescheniya dlya gornyh i predgornyh uchastkov mestnosti: pat. №2687003 / Schedrin V. N., Bondarenko V. L., Lobanov G. L., Baklanova D. V.; zayavka №2018108819. Data registracii 12.03.2018; pravoobladatel' FGBNU "RosNIIPM" <https://elibrary.ru/item.asp?id=38146410>

4. Konceptual'nye podhody k sozdaniyu sistem monitoringa i upravleniya oro-sheniem / A. S. Ovchinnikov, V. V. Borodychev, M. N. Lytov, V. A. Shevchenko, O. V. Bocharnikova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 2 (54). P. 26-39.

5. Mihajlov L. P., Fel'dman B. N., Markanova T. K. Malaya gidrojenergetika. Moskva: Jenergoatomizdat, 1989. 184 p.
6. Nikolaev V. G., Ganaga S. V., Val'ter R. Perspektivy razvitiya vozobnovlyаемых istochnikov jenerгии v Rossii. Rezul'taty proekta TACIS. Moskva: Atmograf, 2009. 455 p.
7. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S. Novye tehicheskie resheniya povysheniya jeffektivnosti resursosberegayuschih sposobov poliva // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2012. № 1 (25). P. 119-124.
8. Ocenka perspektiv ispol'zovaniya maloj gidro]nergetiki na orositel'nyh sistemah dlya obespecheniya vnutrisistemnyh potrebnostej v]lektro]nergii / V. N. Schedrin, D. V. Baklanova, V. L. Bondarenko, G. L. Lobanov // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii [Jelektronnyj resurs]. 2017. № 3(27). P. 160-178. - Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29823000>
9. Razvitie melioracii zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v Rossii / A. V. Kolganov, N. V. Suhoj, V. N. Shkura, V. N. Schedrin / pod redakciej Akademika RAN, doktora tehicheskikh nauk, professora V. N. Schedrina. Novocherkassk: RosNIIPM, 2016.
10. Frontal'naya dozhdval'naya mashina nepreryvnogo dejstviya s avtonomnym]nergoo-bespecheniem: pat. №2676906 / Schedrin V. N., Churaev A. A., Snipych Yu. F., Lobanov G. L., Vajnb erg M. V., Yuchenko L. V., Shkol'naya V. M., Korenovskij A. M., Kup-riyanov A. A.; zayavl. № 2018111173. Data registracii 28.03.2018 g. pravoobladatel' FGBNU "RosNIIPM".
11. Schedrin, V. N., Balakaj G. T. Sostoyanie i perspektivy razvitiya melioracii zemel' na yuge Rossii // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii [Jelektronnyj resurs]. 2014. №3 (15). Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22543932>.
12. Schedrin V. N., Balakaj G. T. Jenergosberegayuschie tehnologii - osnova uspeshnogo razvitiya meliorativnogo kompleksa strany // Trudy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehicheskoy konferencii "Jenergoobespechenie i jenergosberezhenie v sel'skom hozyajstve". Ch. 1. M.: VIJeSX Rossel'hoz akademii, 2012. P. 70-75. <https://elibrary.ru/item.asp?id=18076463>.
13. Schedrin V. N., Gostischev V. D. Perspektivy sozdaniya jenergojeffektivnyh orositel'nyh sistem // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2015. № 5. S. 14-19. Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26301048>.
14. Federal register. The Daily of the United States Government. National archives [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.federalregister.gov/documents/2006/04/17/06-3618/public-conduct-on-bureau-of-reclamation-facilities-lands-and-waterbodies>.
15. Mode of rice drip irrigation / I. P. Kruzhilin, N. N. Dubenok, M. A. Ganiev, A. S. Ovchinnikov, V. V. Melikhov, N. M. Abdou, S. D. Fomin // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. №12(24). P. 7118-7123. Retrieved from www.scopus.com
16. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation / I. P. Kruzhilin, A. S. Ovchinnikov, N. V. Kuznetsova, O. V. Kozinskaya, S. D. Fomin, V. S. Bocharnikov & E. S. Vorontsova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. № 13(13). P. 4181-4184. Retrieved from www.scopus.com

Информация об авторах

Иванов Василий Васильевич, заместитель Губернатора Волгоградской области, председатель комитета сельского хозяйства Волгоградской области, Аппарат Губернатора Волгоградской области (400005, г. Волгоград, ул. Коммунистическая, 19). **E-mail:** mcx@volganet.ru

Овчинников Алексей Семенович, академик РАН, ректор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой **E-mail:** volgau@volgau.com

Куприянова Светлана Вячеславовна, научный сотрудник, аспирант, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», (346420, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190). **E-mail:** schedrikova@bk.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 631.43:631.6.02

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-2

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА АГРОЛАНДШАФТНОЙ КАТЕНЕ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ

THE STUDY OF CHANGES IN NATURAL AND CLIMATE CONDITIONS AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL ON THE AGROLANDSCAPE CATENA OF SLOPE LANDS

С. А. Васильев¹, доктор технических наук

С. И. Чучкалов¹, старший преподаватель

Р. И. Александров¹, кандидат сельскохозяйственных наук

Е. П. Алексеев², кандидат технических наук

S. A. Vasilyev¹, S. I. Chuchkalov¹, R. I. Alexandrov¹, E. P. Alekseev²

¹Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, г. Чебоксары

²Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары

¹Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, Cheboksary

²Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary

Дата поступления в редакцию 10.08.2019

Дата принятия к печати 10.10.2019

Received 10.08.2019

Submitted 10.10.2019

Представлены результаты изменения природно-климатических условий и физических свойств почвы на агроландшафтной катене с применением автоматической метеорологической станции «Сокол-М1», установленной на обрабатываемых почвах склоновых земель Моргаушского района Чувашской Республики. В результате продолжительного мониторинга природно-климатических условий и физических свойств почвы на агроландшафтной катене склоновых земель установлены физически объяснимые связи между наблюдаемыми величинами: с повышением температуры наблюдалось повышение уровня ультрафиолета ($r = 0,43$) и снижение влажности воздуха ($r = -0,60$) и почвы ($r = -0,52$); влажность почвы возрастала с ростом атмосферного давления ($r = 0,52$); уровень ультрафиолета снижается с увеличением влажности воздуха ($r = -0,58$). Такой выбор показателей связан с тем, что именно они наиболее значимо влияют на сельскохозяйственные культуры, особенно в весеннее и осеннее время. В период роста растения, когда корневая система слабо развита, необходимое количество влаги обеспечивается ее запасами в почве, но при этом растения подвержены резким колебаниям температуры воздуха, что приводит к проявлению стрессовых ситуаций и нанесению существенного урона будущему урожаю.

The results of the study of changes in the natural and climatic conditions and physical properties of the soil on the agrolandscape catena using the «Sokol-M1» automatic meteorological station installed on cultivated soils of sloping lands of the Morgaushsky district of the Chuvash Republic are presented. As a result of long-term monitoring of the natural and climatic conditions and physical properties of the soil on the agrolandscape catena of sloping lands, physically explainable relationships were established between the observed quantities: with increasing temperature there were an increase in the level of UV radiation ($r = 0,43$) and a decrease in air humidity ($r = -0,60$) and soil moisture ($r = -0,52$); the soil moisture increased with increasing atmospheric pressure ($r = 0,52$); the UV level decreased with the increasing air humidity ($r = -0,58$). This choice of indicators is due to the fact that they most significantly affect crops, especially in spring and autumn. During the growth of the plant, when the root system is poorly developed, the needed amount of moisture is provided by its reserves in the soil, but at the same time, the plants are susceptible to sharp fluctuations in air temperature, which leads to the manifestation of stressful situations and causing major damage to the future yield.

Ключевые слова: метеорологические станции, осадки, природно-климатические условия, физические свойства почвы, почвы, склоновые земли, агроландшафтные катены.

Keywords: meteorological station, precipitation, climatic conditions, physical properties, soil.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ совместно с Чувашской Республикой, проект «Исследование и конструирование агроландшафтных катен на основе анализа гидродинамических характеристик подстилающих поверхностей склоновых земель» № 18-416-210001 p_a

Цитирование. Васильев С. А., Чучкалов С. И., Александров Р. И., Алексеев Е. П. Исследование изменения природно-климатических условий и физических свойств почвы на агроландшафтной катене склоновых земель. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 26-35. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-2.

Citation. Vasiliev S. A., Chuchkalov S. I., Alexandrov R. I., Alekseev E. P. The study of changes in natural and climatic conditions and physical properties of soil on the agrolandscape Catena of slope lands. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 26-35 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-2.

Введение. Исследования и конструирование агроландшафтных катен составляют существенный и неотъемлемый объем работ по изучению механизмов функционирования агроландшафтов на склоновых землях [12], которые позволяют решать фундаментальные и прикладные проблемы земледелия, например, разрабатывать новые технологии и средства механизации в растениеводстве [10], изучать процессы эрозии почвы на склоновых землях [13], а также создавать функциональные подходы и способы адаптивно-ландшафтного и цифрового земледелия для различных применений (экологически чистые биоматериалы для контурного земледелия, устройства обработки информации и мобильные приложения для аграриев и пр.).

В последнее время для исследования агроландшафтов склоновых земель используется катенарный подход. В связи с этим в настоящей работе предполагается развитие такого катенарного метода на основе определения и анализа изменения природно-климатических условий и физических свойств почвы на агроландшафтной катене склоновых земель техническими средствами контроля и дистанционного зондирования земли, которые позволяют получить достоверную и структурную информацию с высоким пространственным разрешением и достаточным временным периодом для исследования и конструирования агроландшафтных катен, а также новую информацию для разработки современных подходов и способов адаптивно-ландшафтного и цифрового земледелия для различных применений. Предполагается использовать указанные подходы для изучения процессов эрозии почвы, нарушения процессов почвообразования и инфильтрации, изменения гидрофизических и эрозионных свойств почвы и почвенных параметров и др.

Одним из основных факторов продуктивности агроландшафтов и сельскохозяйственных культур являются природно-климатические условия, которые напрямую воздействуют на светообеспеченность, пищеобеспеченность, газообеспеченность, влагообеспеченность и теплообеспеченность на различных этапах формирования растений [2, 8, 11].

При этом способы получения информации о метеорологической обстановке на заданной местности играют немаловажную роль в процессе возделывания сельскохозяйственных культур [6, 9]. Оперативный мониторинг агрометеопараметров рассматривается как элемент наблюдения за важнейшими параметрами хозяйственных процессов мелиоративной системы с целью повышения эффективности эксплуатации, а также максимально раннего обнаружения негативных истораживающих фактов и тенденций в хозяйственной деятельности [3, 4].

Целью данной работы является получение количественных характеристик природно-климатических условий и исследование их влияния на физические свойства почвы агроландшафтной катены склоновых земель на изучаемой заданной местности. В качестве устройства для получения основных климатических показателей использовалась автоматическая метеорологическая станция «Сокол-М1», установленная на обрабатываемых почвах Моргаушского района Чувашской Республики.

По характеру и масштабам подверженности водной эрозии Чувашская Республика относится к наиболее эродированным районам европейской части России, что обусловлено как природными факторами, способствующими развитию ускоренной эрозии, так и хозяйственным воздействием человека на почвенный покров. Особенности рельефа – чередование речных долин и невысоких грядово-увалистых водоразделов, в значительной степени изрезанных оврагами и балками, – определили интенсивность водно-эрозионных процессов [12].

В субъекте 84% сельскохозяйственных угодий размещено на склонах, более 634,0 тыс. га или 80% пашни подвержено водной эрозии (498 тыс. га – слабоэродированные, 125 тыс. га – среднеэродированные и 11,3 тыс. га – сильноэродированные). Относительно небольшая площадь и высокая плотность населения в регионе способствовали сведению лесов, распашке эрозионноопасных земель, увеличению доли пашни в сельскохозяйственных угодьях и, в итоге – нарушению водного баланса территории. Наиболее интенсивно процессы смыва почв протекают на севере Чувашии. В центральной и южной частях республики интенсивность водно-эрозионных процессов заметно снижается. Интенсивность смыва почв в северных районах составляет 15-25 т/га, центральных – 5-15 т/га и южных – 2-10 т/га почвенных частиц в год. В сумме потери элементов питания растений достигают 164,9 тыс. т/год [12].

В связи с уменьшением урожайности сельскохозяйственных культур на эродированных землях ежегодный суммарный экономический ущерб от эрозии почв в республике составляет, в зависимости от климатических условий года, от 600 млн до 1500 млн. рублей [12]. В связи с этим борьба с водной эрозией почв в Чувашской Республике является актуальной проблемой.

Материалы и методы. Агроландшафт склоновых земель представляет собой природно-территориальный комплекс, естественная растительность которого на подавляющей его части заменена агроценозами. Поскольку он характеризуется экологической неустойчивостью, то для обеспечения его равновесного состояния выполняется система агрономических, мелиоративных и экологических мероприятий. Способность экосистемы вернуться в прежнюю область устойчивого равновесия после временного воздействия природного или антропогенного фактора характеризует ее стабильность.

Оценивая состояние агроландшафтов склоновых земель, необходимо учитывать природно-климатические условия, физические свойства, типы и разновидности почв, параметры склонов, размеры контуров, гидрологический режим, эрозионные процессы, хозяйственные условия, местоположение и др. В настоящее время широко используются методы исследования склоновых земель по гидрологической направленности для гидроморфологической характеристики склонов эмпирическими подходами или с помощью данных проведенных исследований и известных таблиц.

Очевидно, что наряду с параметрами, ответственными за стабильность агроэкосистемы, основную роль играет получаемая урожайность, снижение которой до некоторого значения, например вследствие эрозии почвы, переувлажнения или засухи, деградации почвы, предопределяет переход экосистемы в нестабильное состояние.

В то же время уменьшение продуктивности сельскохозяйственных культур будет являться крайним и предельным состоянием агроэкосистемы вследствие воздействия природных и антропогенных возмущений. До этого состояния имеется возможность управлять экосистемой за счет контроля в динамике ряда гидрофизических и эрозионных параметров агроландшафтной катены, в том числе и уровня плодородия почвы. Контроль за отмеченными параметрами обеспечит возможность выявлять скрытые воздействия или изменения и своевременно восстанавливать стабильность агроэкосистемы, например, сохранять гидродинамические характеристики подстилающей поверхности в течение определенного периода.

Среди измерительного оборудования была выбрана автоматическая метеорологическая станция «Сокол-М1», которая позволяет проводить автоматическое измерение метеорологических и физических параметров окружающей среды: температуры воздуха, почвы и воды, относительной влажности воздуха, скорости и направления воздушного потока, атмосферного давления, количества и интенсивности осадков [7].

Метеорологическая станция «Сокол-М1» была установлена на обрабатываемых почвах СХПК «Оринино» Моргаушского района Чувашской Республики (рисунок 1). В районе под воздействием водной эрозии находятся 83,6% обрабатываемых земель [12].

Для получения картины суточных изменений погодных условий были обработаны наиболее существенные метеорологические и физические параметры продолжительностью 20 дней в период всходов и начальный период вегетации сельскохозяйственных культур. Дополнительно исследовали индикацию гидрометеорологических параметров: влажности почвы, влажности листа, концентрации углекислого газа в почве, ультрафиолетовой солнечной радиации – и видеозапись природных явлений с помощью цифровой видеокамеры (таблица 1).

Таблица 1 – Основные метеорологические характеристики станции «Сокол-М1»

Table 1 – Main meteorological characteristics of Sokol-M1 station

№ п/п	Наименование характеристики / Name of characteristics	Значения / Values
1	Напряжение питания постоянным током, В / DC supply voltage, V	5
2	Потребляемая мощность, Вт / Power consumption, W	10
3	Емкость аккумуляторной батареи, А·час / Battery capacity, A·h	8
4	Максимальное время автономной работы, час / Maximum battery life, hour	672
5	Интерфейс связи / Communication interface	USB, GSM, RS-485
6	Диапазон измерений атмосферного давления, гПа / Atmospheric pressure measurement range, hPa	от 540 до 1100
7	Диапазон измерений температуры воздуха, °C / Measuring range of air temperature, °C	-40...65
8	Диапазон измерений температуры почвы, °C / Measuring range of soil temperature, °C	-45...65
9	Диапазон измерений относительной влажности, % / Relative humidity measurement range, %	0...100
10	Диапазон измерений количества осадков, мм / The range of measurements of precipitation amount, mm	от 0,2
11	Диапазон измерений интенсивности осадков, мм/мин / Measuring range of precipitation intensity, mm / min	0...40,6
12	Диапазон измерений скорости воздушного потока, м/с / Measuring range of air flow velocity, m / s	1...80
13	Момент силы трения на оси измерителя скорости воздушного потока, мкН·м / Moment of friction force on the axis of the air flow velocity meter, μN·m	50
14	Диапазон измерений направления воздушного потока, град / Measuring range of air flow direction, deg	0...360
15	Порог чувствительности измерителя направления воздушного потока, м/с / Sensitivity threshold of the air flow direction meter, m/s	0,8
16	Диапазон измерений интенсивности ультрафиолетовой солнечной радиации, Вт/м ² / Measuring range of ultraviolet solar radiation intensity, W / m ²	0...32,8
17	Диапазон индикации влажности листа, % / Sheet humidity display range, %	1...90
18	Диапазон индикации концентрации углекислого газа в почве, ppm / Range of indication of carbon dioxide concentration in soil, ppm	0...2000



Рисунок 1 – Место размещения метеорологической станции на ландшафтной катене в Моргаушском районе Чувашской Республики

Figure 1 – Location of meteorological station on the landscape catena in Morgaushskiy district, Chuvash Republic

Метеорологическая станция представляет собой моноблок, в корпусе которого размещены: блок регистрации и обработки измерительной информации, измерители температуры и влажности, измерители количества и интенсивности атмосферных осадков и измеритель атмосферного давления. На внешней стороне корпуса располагаются измерители скорости и направления ветра, ультрафиолетовой солнечной радиации, солнечная панель и цифровая видеокамера (рисунок 2). При полевых исследованиях модуль станции был установлен на монтажную опору и размещен на высоте 1,5 м над уровнем почвы в открытой от лесонасаждений местности.



Рисунок 2 – Установка и подключение метеорологической станции «Сокол-М» на месте

Figure 2 – Installation and connection of the weather station «Sokol-M» on site

Наличие линии беспроводной связи с основным модулем станции позволяет подключать внешние датчики, измеряющие температуру и влажность почвы, и индикатор влажности листа (рисунок 3).

Запись данных с сенсоров производится в память модуля круглосуточно и с интервалом времени 30 минут передается через канал связи с помощью GSM-модема на удаленный ПК. Электропитание производится за счет встроенной солнечной панели и аккумуляторной батареи. Принципы действия измерительных устройств основаны на физических законах и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Принцип действия основных измерительных устройств станции «Сокол-М1»

Table 2 – Principle of operation of the main measuring devices of Sokol-M1 station

№п/п	Канал измерений / The measurement channel	Принцип действия / Operating principle
1	Температура воздуха / Air temperature	Основан на изменении падения напряжения на р-п переходе в зависимости от температуры окружающей среды / It is based on changes in voltage drop at the p-n junction as a function of ambient temperature
2	Температура почвы / Soil temperature	Основан на изменении падения напряжения на р-п переходе в зависимости от температуры окружающей среды / It is based on changes in voltage drop at the p-n junction as a function of ambient temperature
3	Температура воды / Water temperature	Основан на изменении падения напряжения на р-п переходе в зависимости от температуры окружающей среды / It is based on changes in voltage drop at the p-n junction as a function of ambient temperature
4	Относительная влажность воздуха / Relative humidity	Основан на изменении емкости полимерного конденсатора в зависимости от относительной влажности воздуха / It is based on changes in the capacitance of the polymer capacitor depending on the relative humidity
5	Скорость воздушного потока / Airspeed	Основан на преобразовании скорости воздушного потока во вращательное движение вала с чувствительным элементом (чашками) измерений скорости его вращения с помощью датчика Холла / It is based on the conversion of the air flow velocity into the rotational motion of the shaft with a sensing element (cups) measuring the speed of its rotation using a Hall sensor
6	Направление воздушного потока / The direction of the air flow	Основан на преобразовании угла поворота флюгарки в электрический сигнал с помощью магнитного регистратора угла поворота / It is based on the conversion of the angle of rotation of the weather vane into an electrical signal using a magnetic angle recorder
7	Атмосферное давление / Amount of pressure	Основан на изменении емкости конденсатора в зависимости от изменения атмосферного давления / It is based on the change in the capacitance of the capacitor depending on changes in atmospheric pressure
8	Количество осадков / Rainfall	Основан на регистрации числа опрокидываний лоточного механизма с помощью датчика Холла / It is based on the registration of the number of overturning of the lot mechanism using the Hall sensor
9	Интенсивность осадков / Precipitation intensity	Основан на регистрации числа опрокидываний лоточного механизма с усреднением результатов измерений по заданным промежуткам времени / It is based on the registration of the number of overturning of the lot mechanism with the averaging of the measurement results over specified time intervals
10	Ультрафиолетовая солнечная радиация / Ultraviolet solar radiation	Основан на регистрации ультрафиолетового излучения фотодиодом с последующим усилением сигнала / It is based on the registration of ultraviolet radiation by a photodiode followed by signal amplification

Для получения основных показателей по теплообеспеченности и влагообеспеченности к основному модулю станции были подключены выносные элементы измерения температуры почвы, индикатор влажности почвы и индикатор влажности листа с помощью линии связи. Для этого на глубине 10 см под поверхностью почвы были помещены датчики температуры и влажности, а на высоте 30 см при помощи вертикальной стойки был установлен индикатор влажности листа.



Рисунок 3 – Подключение и установка беспроводных модулей для оценки параметров почвы и индикатора влажности листа

Figure 3 – Connecting and installing wireless modules for assessing soil parameters and leaf moisture indicator

Станция в автономном режиме производила снятие основных метеорологических показателей и передавала данные на сервер, где хранится информация с момента запуска станции.

Результаты и обсуждение. На основании проведенных исследований и полученных данных была построена корреляционная матрица основных метеорологических показателей (таблица 3).

Таблица 3 – Корреляционная матрица

Table 3 – Correlation matrix

	Уровень ультрафиолета / The level of ultraviolet radiation	Атмосферное давление, гПа / Atmospheric pressure, hPa	Температура, град. C° / Temperature, deg. C°	Направление ветра, град. / Wind direction, hail.	Влажность, % / Humidity, %	Скорость ветра, м/с / Wind speed, m / s	Влажность почвы / Soil moisture
Уровень ультрафиолета / The level of ultraviolet radiation	1						
Атмосферное давление, гПа / Atmospheric pressure, hPa	0,1303	1					
Температура, °C / Temperature, °C	0,4335	-0,3082	1				
Направление ветра, град. / Wind direction, deg.	-0,1181	-0,1147	0,0530	1			
Влажность, % / Humidity, %	-0,5784	-0,1548	-0,5958	0,1173	1		
Скорость ветра, м/с / Wind speed, m / s	0,3094	-0,3786	0,2483	-0,2074	-0,2922	1	
Влажность почвы / Soil moisture	0,0731	0,5157	-0,5214	-0,0592	-0,0298	-0,0217	1

По результатам более чем тысячи измерений получены вполне физически обоснованные связи между наблюдаемыми величинами [3] (таблица 3):

- с повышением температуры наблюдается повышение уровня ультрафиолета ($r=0,43$) и снижение влажности воздуха ($r = -0,60$) и почвы ($r = -0,52$);
- влажность почвы возрастает с ростом атмосферного давления ($r = 0,52$);
- уровень ультрафиолета снижается с увеличением влажности воздуха ($r = -0,58$).

Такой подход к выбору показателей связан с тем, что экстремальные значения метеорологических параметров наиболее значимо воздействуют на сельскохозяйственные культуры, особенно в весеннее и осеннее время. В период роста растения, когда корневая система слабо развита, необходимое количество влаги обеспечивается ее запасами в почве, но при этом растения легко подвержены резким колебаниям температуры воздуха, что приводит к проявлению стрессовых ситуаций и нанесению значимого урона будущему урожаю.

Заключение. Рассмотрение стабильности агроэкосистемы в зависимости только от одного или двух возмущающих факторов, как это принято во многих математических моделях, не является обоснованным. Наиболее эффективны комплексные исследования на агроландшафтной катене с применением методов математического моделирования и анализа. Некоторая сложность заключается в установлении подверженных существенным негативным воздействиям зон и областей на катене, их границ и размеров во времени и в пространстве. Применение автоматических метеорологических станций в сельскохозяйственном производстве позволит отслеживать погодные условия в реальном времени и проводить прогнозирование на исследуемом участке.

Библиографический список

1. Алексеев В. В., Краснов В. К. Проблема выбора значимых объясняющих переменных в эконометрических исследованиях // Вестник Российского университета кооперации. 2016. № 4 (26). С. 11-14.
2. Алексеев В. В., Максимов И. И. Применение элементов fuzzy logic при оценке влагообеспеченности в системе растение-почва-воздух // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 2 (49). С. 62-66.
3. Алексеев В. В., Максимов И. И., Мишин П. В. Изучение влияния механического воздействия на скорость и объем поглощения влаги почвой // Вестник НГИЭИ. 2018. № 7 (86). С. 18-28.
4. Аминев Д. А., Головинов Е. Э. Инновационный подход к проведению полевых экспериментов // Качество. Инновации. Образование. 2015. № 1. С. 2630.
5. Атлас земель сельскохозяйственного назначения Чувашской Республики : атлас-монография / авт.-сост. Т. А. Ильина и др. ; гл. ред. С. Э. Дринев. Чебоксары: М-во природных ресурсов и экологии Чувашской Респ., Упр. Федерального агентства кадастра объектов недвижимости по Чувашской Респ., ЧГСХА, 2007. 184 с.
6. Васильев С. А. Математическая модель для прогноза эрозионных процессов на склоновых агроландшафтах // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 9. С. 96–100.
7. Деменкова Т. А., Александров А. И. Алгоритмическое обеспечение модульной метеостанции // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2017. Т. 17. № 5. С. 1228-1231.
8. Оценка эффективности функционирования системы машина-почва-растение / И. И. Максимов, В. И. Максимов, А. Н. Михайлов, В. В. Алексеев // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 11. С. 28-34.
9. Результаты почвенно-мелиоративных исследований при реконструкции межхозяйственной оросительной системы «Дружба» Чувашской Республики / А. Н. Дмитриев, С. А. Васильев, В. В. Алексеев, И. И. Максимов // Теоретический и научно-практический журнал «Мелиорация и водное хозяйство». 2016. № 2. С. 17-21.

10. Alekseev E. P., Vasilyev S. A., Maksimov I. I. Investigation of seed uniformity under field and laboratory conditions. MISTAerospace 2018 IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018) 062008. doi:10.1088/1757-899X/450/6/062011, 2-s2.0-85058705086.

11. Alekseev V. V., Vasilyev S. A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Fuzzy Technologies in the Industry – FTI 2018”. CEUR Workshop Proceedings, 2018. 2-s2.0-85058147549.

12. Alekseev V., Chuchkalov S. Development of a criteriabased approach to agroecological assessment of slope agrolandscapes // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2018. Vol. 6. № 10 (96). P. 28-34.

13. Simulation of Channel Development on the Surface of Agrolandscapes on Slopes / I. I. Maksimov, V. I. Maksimov, S. A. Vasilev, V. V. Alekseev // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. № 4. P. 475-480. ISSN 1064-2293. doi:10.1134/S1064229316040074. WOS:000376264400010.

Reference

1. Alekseev V. V., Krasnov V. K. Problema vybora znachimyh ob'yasnyayuschih peremennyh v jekonometricheskikh issledovaniyah // Vestnik Rossijskogo universiteta kooperacii. 2016. № 4 (26). P. 11-14.

2. Alekseev V. V., Maksimov I. I. Primenenie jelementov fuzzy logic pri ocenke vla-goobespechennosti v sisteme rastenie-pochva-vozduh // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. Vol. 13. № 2 (49). P. 62-66.

3. Alekseev V. V., Maksimov I. I., Mishin P. V. Izuchenie vliyaniya mehanicheskogo vozdejstviya na skorost' i ob'em pogloscheniya vlagi pochvoj // Vestnik NGIJeI. 2018. № 7 (86). P. 18-28.

4. Aminev D. A., Golovinov E. Je. Innovacionnyj podhod k provedeniyu polevyh jeksperimentov // Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. 2015. № 1. P. 2630.

5. Atlas zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya Chuvashskoj Respubliki : atlas-monografiya / avt. - sost. T. A. Il'ina i dr. ; gl. red. S. Je. Drinev. Cheboksary: M-vo prirodnyh resursov i jekologii Chuvashskoj Resp., Upr. Federal'nogo agentstva kadastra ob'ektov nedvizhimosti po Chuvashskoj Resp., ChGSXA, 2007. 184 p.

6. Vasil'ev S. A. Matematicheskaya model' dlya prognoza jerozionnyh processov na sklono-vykh agrolandshaftah // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 9. P. 96-100.

7. Demenkova T. A., Aleksandrov A. I. Algoritmicheskoe obespechenie modul'noj mete-ostancii // Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroeniya. 2017. Vol. 17. № 5. P. 1228-1231.

8. Ocenka jeffektivnosti funkcionirovaniya sistemy mashina-pochva-rastenie / I. I. Maksimov, V. I. Maksimov, A. N. Mihajlov, V. V. Alekseev // Traktory i sel'hozmashiny. 2013. № 11. P. 28-34.

9. Rezul'taty pochvenno-meliorativnyh issledovanij pri rekonstrukcii mezhhozyajstvennoj orositel'noj sistemy “Druzhba” Chuvashskoj Respubliki / A. N. Dmitriev, S. A. Vasil'ev, V. V. Alekseev, I. I. Maksimov // Teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal “Melioraciya i vodnoe ho-zyajstvo”. 2016. № 2. P. 17-21.

10. Alekseev E. P., Vasilyev S. A., Maksimov I. I. Investigation of seed uniformity under field and laboratory conditions. MISTAerospace 2018 IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018) 062008. doi:10.1088/1757-899X/450/6/062011, 2-s2.0-85058705086.

11. Alekseev V. V., Vasilyev S. A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Fuzzy Technologies in the Industry – FTI 2018”. CEUR Workshop Proceedings, 2018. 2-s2.0-85058147549.

12. Alekseev V., Chuchkalov S. Development of a criteriabased approach to agroecological assessment of slope agrolandscapes // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2018. Vol. 6. № 10 (96). P. 28-34.

13. Simulation of Channel Development on the Surface of Agrolandscapes on Slopes / I. I. Maksimov, V. I. Maksimov, S. A. Vasilev, V. V. Alekseev // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. № 4. P. 475-480. ISSN 1064-2293. doi:10.1134/S1064229316040074. WOS:000376264400010.

Информация об авторах

Васильев Сергей Анатольевич, заведующий кафедрой «Прикладная механика и графика» Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова (РФ, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15), доктор технических наук, доцент

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>. E-mail: vsa_21@mail.ru

Чучкалов Сергей Иванович, старший преподаватель кафедры «Общая физика» Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова (РФ, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15). E-mail: serg.chuchkaloff@yandex.ru

Александров Рустам Иванович, руководитель инновационно-внедренческого центра Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова (РФ, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15), кандидат сельскохозяйственных наук. E-mail: innov_chuvsu@mail.ru

Алексеев Евгений Петрович, доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы» Чувашской государственной сельскохозяйственной академии (РФ, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д.29), кандидат технических наук

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7815-4013>. E-mail: zhenia_alex@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 574.22:581

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-3

МИГРАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЕДОНОСНЫХ РАСТЕНИЯХ, КУЛЬТИВИРУЕМЫХ В СЕВЕРНОМ И ЗАПАДНОМ РАЙОНАХ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

MIGRATION OF RADIOACTIVE ELEMENTS OF HONEY PLANTS CULTIVATED IN THE NORTHERN AND WESTERN REGIONS OF THE SAMARA REGION

В.С. Григорьев, доктор биологических наук, профессор

V.S. Grigoriev

Самарский государственный аграрный университет

Samara State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 18.06.2019

Received 18.06.2019

Дата принятия к печати 25.10.2019

Submitted 25.10.2019

Радиоактивные элементы из почвы, воздуха и воды поступают в медоносные растения: липу, подсолнечник, гречиху, кукурузу и эспарцет. Уровни концентрации радиоактивных элементов определяли на гамма-спектрометре «Гамма-1П» в воздухе один раз в месяц в течение 2017-2018гг, а в почве и воде с апреля по ноябрь, в медоносных растениях в мае – в период активного соковыделения. Отбор проб воздуха проводили с помощью воздухофильтрующей установки «Тайфун», фильтр озоняли при температуре 450 °С. Концентрация радиоактивных элементов Cs^{137} и K^{40} на территории Северного района минимальная и составляла $0,007 \cdot 10^{-5} \pm 0,001^* \text{ Бк/м}^3$ и $0,24 \cdot 10^{-5} \pm 0,02^* \text{ Бк/м}^3$. Максимальная концентрация Cs^{70} – в воде и составила $8,68 \pm 0,76 \text{ Бк/л}$, минимальная в почве – $5,75 \pm 0,28 \text{ Бк/кг}$. Be^7 зарегистрировано только в воздухе и составляло $68,04 \cdot 10^{-5}^* \text{ Бк/м}^3$. На территории Западного района минимальная концентрация Cs^{137} и K^{40} в воздухе составила $0,098 \cdot 10^{-5} \pm 0,036^* \text{ Бк/м}^3$ и $3,27 \cdot 10^{-5} \pm 0,31^* \text{ Бк/м}^3$. Содержания Sr^{90} в воде – $9,67 \pm 0,81 \text{ Бк/л}$, в почве – $8,83 \pm 1,74 \text{ Бк/кг}$. Be^7 - $28973 \cdot 10^{-5} \pm 39,46^* \text{ Бк/м}^3$ и Na^{22} – $0,008 \cdot 10^{-5} \pm 0,001 \text{ Бк/м}^3$ выявлены только в воздухе. Радиоактивные элементы максимальны в зеленой массе эспарцета, а наименьшее содержание Cs^{137} и Sr^{90} в гречихе, минимальная концентрация K^{40} в зеленой массе липы и составила $1,02 \pm 0,19 \text{ Бк/кг}$. В медоносных растениях культивируемых на территории Западного района выявлено повышенное содержание Cs^{137} и K^{40} в зеленой массе кукурузы – $4,83 \pm 0,98 \text{ Бк/кг}$ и $2,16 \pm 0,42 \text{ Бк/кг}$. Наименьшее содержание Sr^{90} установлено в зеленой массе подсолнечника – $6,52 \pm 0,72 \text{ Бк/кг}$. Минимальная концентрация Th^{232} – в зеленой массе кукурузы на уровне $11,62 \pm 5,09 \text{ Бк/кг}$. Полученные результаты соответствуют нормам радиационной безопасности региона.

Radioactive elements from the soil, air, and water enter the honey plants: linden, sunflower, buckwheat, corn, and export. The concentration levels of radioactive elements were determined on a «Gamma-1P» gamma-spectrometer once a month in air during 2017-2018, and in soil and water from April to November, in honey plants in May - during the period of active juice excretion. Air sampling was carried out using a Typhoon air filter unit, the filter was ashed at 450 °C. The concentration of radioactive elements Cs^{137} и K^{40} in the Northern region was minimal and amounted to 0, составляла $0,007 \cdot 10^{-5} \pm 0,001^* \text{ Bq/m}^3$ and $0,24 \cdot 10^{-5} \pm 0,02^* \text{ Bq/m}^3$. The maximum concentration of Cs^{70} was in water and amounted to $8,68 \pm 0,76 \text{ Bq/l}$, the minimum in the soil was $5,75 \pm 0,28 \text{ Bq/kg}$. Be^7 was detected only in air and amounted to $68,04 \cdot 10^{-5}^* \text{ Bq/m}^3$. In the Western region, the minimum concentration of Cs^{137} и K^{40} in the air was $0,098 \cdot 10^{-5} \pm 0,036^* \text{ Bq/m}^3$ and $3,27 \cdot 10^{-5} \pm 0,31^* \text{ Bq/m}^3$. Sr^{90} content in water is $9,67 \pm 0,81 \text{ Bq/l}$, in the soil - $8,83 \pm 1,74 \text{ Bq/kg}$. Be^7 - $28973 \cdot 10^{-5} \pm 39,46^* \text{ Bq/m}^3$ and Na^{22} - $0,008 \cdot 10^{-5} \pm 0,001 \text{ Bq/m}^3$ were detected only in air. The radioactive elements are maximal in the green mass of the export, and the lowest content of Cs^{137} и Sr^{90} is in buckwheat, the minimum concentration of K^{40} in the green mass of linden was $1,02 \pm 0,19 \text{ Bq/kg}$. In honey plants cultivated on the territory of the Western region, an increased content of Cs^{137} и K^{40} in the green mass of corn was revealed - $4,83 \pm 0,98 \text{ Bq/kg}$ and $2,16 \pm 0,42 \text{ Bq/kg}$. The smallest Sr^{90} content was found in the green mass of sunflower - $6,52 \pm 0,72 \text{ Bq/kg}$. The minimum concentration of Th^{232} is in the green mass of corn at the level of $11,62 \pm 5,09 \text{ Bq/kg}$. The results obtained comply with the radiation safety standards of the region.

Ключевые слова: радиоактивные элементы, радионуклиды, экологические факторы, медоносные растения, вода, почва, воздух, гамма-спектрометрия, концентрация радионуклидов.

Key words: radioactive elements, radionuclides, environmental factors, honey plants, water, soil, air, gamma spectrometry, concentration of radionuclides.

Цитирование. Григорьев В. С. Миграция радиоактивных элементов в медоносных растениях, культивируемых в Северных и Западных районах Самарской области. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 35-41. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-3.

Citation. Grigoriev V. S. Migration of radioactive elements of honey plants cultivated in the Northern and Western region of the Samara region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 35-41 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-3.

Введение. Широкое использование ядерной энергии в различных сферах деятельности человека связано с поступлением в биосферу огромного количества радионуклидов и участием их во многих биологических процессах, что создает дополнительное к природному фону облучение живых организмов [4, 5, 6]. Необходимо учитывать проявление вторичных эффектов загрязнения, связанных с выносом продуктов деления на поверхность земли талыми и ливневыми водами, ветровым переносом и миграцией радионуклидов по пищевым цепочкам [1, 2, 11, 14]. Дозы облучения, полученные биотой, значительно выше, чем дозы, полученные человеком [7, 10, 13]. В сложившихся условиях особую роль приобретает проблема накопления радиоактивных веществ в окружающей среде, преимущественно в почве, воде и растительности [3, 8, 9]. Радионуклиды в цепочке «почва – вода – растение – животное», попадая в живой организм, накапливаются в продуктах питания животного и растительного происхождения, что неблагоприятно влияет на здоровье человека [5, 12].

Распределение радиоактивных элементов зависит от территориальных экологических условий, где культивируются медоносные растения. Поведение радионуклидов в почвах в значительной степени определяется типом почв, механическим составом и другими свойствами, например, тяжелые по механическому составу почвы больше накапливают поглощенные радионуклиды, чем легкосуглинистые и супесчаные почвы с низким содержанием мелкодисперсных частиц [4, 9]. В пределах одного и того же типа почв в растениях накапливаются стронций (Sr^{90}) и цезий (Cs^{137}), которые на кислых почвах поступают в растения в больших количествах по сравнению со щелочными [3, 4].

Цель исследования – выявить уровень концентрации радиоактивных элементов в медоносных растениях Самарской области.

Задачи исследования: определить уровень концентрации радиоактивных элементов в воздухе, почве и воде на территории Северного и Западного районов Самарской области; определить концентрацию радионуклидов в медоносных растениях, культивируемых в Северном и Западном районах Самарской области в зависимости от радиэкологической обстановки.

Материалы и методы. Исследования уровня концентрации радиоактивных элементов в воздухе на территории Северного и Западного районов Самарской области проводились один раз в месяц в течение 2017-2018 гг. Исследование содержания радиоактивных элементов в почве и воде проводилось с апреля по ноябрь. Изучение уровня концентрации радиоактивных элементов в медоносных растениях осуществлялось в мае, в период активного соковыделения растений.

Объектами изучения радиоактивного загрязнения почвы, воды и атмосферного воздуха являлись пробы воздуха, вода естественных водоемов (река, озеро, болото), почва с естественных ландшафтов, а также цветки медоносных растений: липы, подсолнечника, гречихи, кукурузы и эспарцета.

Отбор проб воздуха проводили на фильтр с помощью воздухофильтрующей установки «Тайфун», затем озоляли в муфельной печи при температуре 450 °С и помещали в чашку Петри [2, 7]. Концентрацию радиоактивных элементов определяли с помощью гамма-спектрометрического анализа на гамма-спектрометре «Гамма-1П» [6, 10].

Полученный цифровой материал результатов исследования обработан методами вариационной статистики.

Результаты и обсуждение. Самарская область расположена на юго-востоке европейской части России, в «плодородном треугольнике», что объясняет высокое видовое разнообразие флоры, и характеризуется значительной неоднородностью почвенного покрова, что связано с расположением области в двух природных зонах – лесостепной и степной, каждая из которых занимает примерно половину территории. Почвенный покров лесостепной зоны представлен выщелоченными и типичными чернозёмами (73 % территории) [2]. Относительно небольшое распространение имеют оподзоленные чернозёмы и серые лесные почвы. Основной фон почвенного покрова степной зоны образуют обыкновенные и южные чернозёмы. Большинство почв (до 80 %) имеет глинистый и тяжелосуглинистый механический состав. Почвы со среднесуглинистым механическим составом составляют около 11 % территории, легкосуглинистые и супесчаные – около 7 %. Около 12 % территории Самарской области занимают широколиственные леса (основные породы – дуб, липа, клён и другие медоносные растения) [7]. Кроме этого, возделываются зерновые, масличные и другие сельскохозяйственные культуры, которые имеют практическое значение для пчеловодства. Опыление с помощью пчел – высокоэффективный агротехнический прием, повышающий урожайность сельскохозяйственных растений, качество их плодов и семян [3, 5].

Для Самарской области характерен липово-подсолнечниково-многолетнетравяной тип медосбора. Липа представляет наибольшую ценность для пчеловодства, так как богата ароматным и полезным нектаром. Медопродуктивность липы дополняется тем ценным свойством, что её цветение совпадает с периодом наивысшей силы и активности пчелиных семей. На территории Самарской области площади под насаждения липы занимают 126 тыс. га: 75 тыс. га (Северный район) и 51 тыс. га (Западный район).

Подсолнечник – масличная культура, цветет в июле – начале августа, привлекает пчел своим нектаром и пыльцой, сбор его приходится на фазу работоспособности пчелиных семей. Площадь под подсолнечник на территории Самарской области составляет 259 тыс. га (147 тыс. га – Северный район, 112 тыс. га – Западный район).

Кукуруза цветёт в конце июня – в июле, посещается пчелами для сбора пыльцы, которая содержит 20-25 % протеина. Нектар кукуруза не выделяет. Кукурузные поля на территории Самарской области занимают 907 тыс. га: 472 тыс. га (Северный район) и 435 тыс. га (Западный район).

Гречиха: в зависимости от погодных условий цветение начинается через месяц после посева и продолжается до конца лета. Культура не всегда выделяет нектар – этому процессу способствует тёплая, но не жаркая, влажная погода. Гречишные поля на территории Самарской области занимают 83 тыс. га: 46 тыс. га (Северный район) и 37 тыс. га (Западный район).

Эспарцет считается одним из лучших медоносов. Цветки эспарцета выделяют нектар при температуре воздуха от 22 до 25 °С. Период цветения – май-июнь, совпадает с периодом активного сбора нектара пчелами. Мёд богат белками, углеводами, аскорбиновой кислотой и другими веществами, полезными для человека [5]. Посевы эспарцета занимают 27 тыс. га территории Самарской области: 15 тыс. га (Северный район) и 12 тыс. га (Западный район).

Результаты исследования концентрации радиоактивных элементов в почве, воде и воздухе на территории Северного района Самарской области показали, что повышенное содержание Cs^{137} , K^{40} , Th^{232} и Ra^{226} обнаружено в почве (таблица 1). Минимальное содержание Cs^{137} и K^{40} зафиксировано в воздухе – на уровне 0,007 Бк/м³ и 0,24 Бк/м³ соответственно.

Максимальная концентрация Sr^{90} обнаружена в воде и не превышала 8,68 Бк/л, минимальная – в почве на уровне 5,75 Бк/кг (таблица 1). Содержание Be^7 зарегистрировано только в воздухе и составляло 68,04 Бк/м³ (таблица 1).

Таблица 1 – Концентрация радиоактивных элементов
на территории Самарской области в 2017 году

Table 1 – Concentration of radioactive elements
on the territory of the Samara region in 2017

Р/н	Северный район			Западный район		
	почва, Бк/кг	вода, Бк/л	воздух, Бк/м ³	почва, Бк/кг	вода, Бк/л	воздух, Бк/м ³
Be^7	-	-	68,04±5,81	-	-	289,73±39,46
Cs^{137}	1,93±0,16**	1,84±0,11**	0,007±0,001**	2,41±0,21**	2,18±0,28**	0,098±0,036**
K^{40}	332,05±54,81	-	0,24±0,02**	358,09±61,92	-	3,27±0,31**
Th^{232}	20,12±1,33*	-	-	25,32±7,81*	-	-
Ra^{226}	23,57±2,99*	-	-	28,73±9,14*	-	-
Na^{22}	-	-	-	-	-	0,008±0,001**
Sr^{90}	5,75±0,28**	8,68±0,76**	-	8,83±1,74*	9,67±0,81**	-

Достоверность: *P ≥ 0,95; **P ≥ 0,99

В результате исследования содержания радиоактивных элементов в почве, воде и воздухе на территории Западного района Самарской области было выявлено высокое содержание Cs^{137} , K^{40} , Th^{232} и Ra^{226} в почве (таблица 1). Минимальная концентрация Cs^{137} и K^{40} наблюдалась в воздухе и составляла 0,098 Бк/м³ и 3,27 Бк/м³ соответственно. Повышенное содержание Sr^{90} зарегистрировано в воде и не превышало 9,67 Бк/л, минимальное – в почве на уровне 8,83 Бк/кг (таблица 1). Содержание Be^7 (289,73 Бк/м³) и Na^{22} (0,008 Бк/м³) выявлено только в воздухе (таблица 1). Полученные результаты исследования соответствуют нормам радиационной безопасности [3].

Исследования концентрации радиоактивных элементов в медоносных растениях на территории Северного района Самарской области показало, что повышенное содержание Cs^{137} , K^{40} , Th^{232} , Ra^{226} и Sr^{90} обнаружено в цветках эспарцета (таблица 2).

Наименьшее содержание Cs^{137} и Sr^{90} зафиксировано в гречихе (таблица 2). Минимальная концентрация K^{40} обнаружена в цветках липы на уровне 1,02 Бк/кг (таблица 2). Наименьшее содержание Th^{232} и Ra^{226} наблюдалось в кукурузе (таблица 2). Содержание в медоносных растениях Be^7 и Na^{22} не обнаружено.

Таблица 2 – Концентрация радиоактивных элементов
в медоносных растениях на территории Самарской области в 2017 году

Table 2 – Concentration of radioactive elements in honey plants in the Samara region in 2017

Район	Медоносы	Радионуклид, Бк/кг				
		Cs^{137}	K^{40}	Th^{232}	Ra^{226}	Sr^{90}
Северный	Липа	1,43±0,12**	1,02±0,19**	10,92±1,43	18,10±7,96	3,73±0,48
	Подсолнечник	1,03±0,23**	1,67±0,41*	16,25±6,17	17,21±8,93	4,15±0,60
	Гречиха	0,93±0,49*	1,11±0,65	14,79±8,92	15,81±7,96	2,19±0,63
	Кукуруза	1,85±0,96	1,39±0,23*	10,14±2,48	9,43±3,58	2,78±0,55
	Эспарцет	3,31±0,84	1,77±0,84	19,77±0,97	23,74±7,93	4,39±0,54
Западный	Липа	1,95±0,28*	1,56±0,39*	11,26±2,15	13,82±8,49	4,87±0,68
	Подсолнечник	1,74±0,46*	1,93±0,68	21,32±9,12	22,80±9,87	6,52±0,74
	Гречиха	1,24±0,87	1,30±0,84	20,84±9,28	23,17±9,20	3,31±0,76
	Кукуруза	4,83±0,98	2,16±0,42*	13,95±4,11	11,62±5,09	4,18±0,85
	Эспарцет	2,94±1,15	2,08±0,94	22,45±8,71	25,33±8,97	5,66±0,72

Достоверность: * $P \geq 0,95$; ** $P \geq 0,99$

В результате исследования содержания радиоактивных элементов в медоносных растениях на территории Западного района Самарской области выявлено повышенное содержание Cs^{137} и K^{40} в кукурузе, которое составляло 4,83 Бк/кг и 2,16 Бк/кг соответственно (таблица 2). Высокая концентрация Th^{232} и Ra^{226} зафиксирована в цветках эспарцета, она составляла 22,45 Бк/кг и 25,33 Бк/кг соответственно. Наименьшее содержание Sr^{90} обнаружено в цветках подсолнечника на уровне 6,52 Бк/кг (таблица 2).

Минимальная концентрация Cs^{137} , K^{40} и Sr^{90} зафиксирована в цветках гречихи, которая составляла 1,24 Бк/кг, 1,30 Бк/кг и 3,31 Бк/кг соответственно. Наименьшее содержание Th^{232} обнаружено в цветках липы на уровне 11,26 Бк/кг, Ra^{226} – в кукурузе на уровне 11,62 Бк/кг (таблица 2).

Обсуждение. Как видно из таблицы 1, максимальная концентрация Cs^{137} на территории Самарской области зафиксирована в почве Западного района (2,41 Бк/кг). Минимальное содержание Cs^{137} обнаружено в воде Северного района на уровне 0,007 Бк/м³.

Повышенная концентрация K^{40} обнаружена в почве Западного района и составила 358,09 Бк/кг, минимальная – 0,24 Бк/м зафиксирована в воздухе на территории Северного района Самарской области. Содержание Th^{232} обнаружено в почве в пределах от 20,12 Бк/кг (Северный район) до 25,32 Бк/кг (Западный район). Максимальная концентрация Ra^{226} зафиксирована в Западном районе на уровне 28,73 Бк/кг, минимальная – в Северном районе и составляла 23,57 Бк/кг. Содержание Na^{22} зафиксировано только в воздухе Западного района на уровне 0,008 Бк/м³. Максимальная концентрация Sr^{90} обнаружена в воде Западного района и не превышала 9,67 Бк/л, минимальная – Sr^{90} зарегистрирована в почве Северного района на уровне 5,75 Бк/кг.

В таблице 2 представлены результаты гамма-спектрометрического анализа некоторых медоносных растений Самарской области. Такие радионуклиды, как Be^7 и Na^{22} , в липе, подсолнечнике и эспарцете на территории Северного и Западного районов не обнаружены. Максимальная концентрация Cs^{137} не превышала 2,94 Бк/кг и зафиксирована на территории Западного района в цветках эспарцета. Минимальное содержание Cs^{137} зарегистрировано на территории Северного района в подсолнечнике на уровне 1,03 Бк/кг.

Повышенное содержание K^{40} обнаружено на территории Западного района в эспарцете и не превышало 2,08 Бк/кг. Минимальная концентрация K^{40} зафиксирована в цветках липы Северного района на уровне 1,02 Бк/кг. Максимальная концентрация Th^{232} обнаружена в эспарцете на территории Западного района, которая составляла 22,45 Бк/кг. Минимальное содержание Th^{232} зафиксировано в липе Северного района на уровне 10,92 Бк/кг. Повышенная концентрация Ra^{226} обнаружена в эспарцете Западного района, которая не превышала 25,33 Бк/кг. Минимальное содержание Ra^{226} зарегистрировано в подсолнечнике на территории Северного района. Максимальная концентрация Sr^{90} выявлена в подсолнечнике Западного района на уровне 6,52 Бк/кг. Минимальное содержание Sr^{90} обнаружено в цветках липы на территории Северного района и составляло 3,75 Бк/кг.

Полученные результаты исследования соответствуют нормам радиационной безопасности [6].

Заключение. Необходимо отметить, что повышенное содержание таких радионуклидов, как Be^7 , Cs^{137} , K^{40} , Th^{232} , Ra^{226} , Na^{22} и Sr^{90} , наблюдалось на территории Западного района Самарской области, что обусловлено негативным влиянием промышленных предприятий на окружающую среду. Северный район Самарской области оказался наиболее благоприятным – обнаруженные максимальные концентрации радионуклидов значительно ниже по сравнению с максимальными значениями на территории Западного района Самарской области.

Библиографический список

1. Воробьева С. Л. Влияние абиотических факторов на продуктивность пчел в условиях Удмуртской Республики [Электронный ресурс]// Современные проблемы науки и образования. 2015. №1. URL: <http://www.science-education.ru/121-17806>
2. Дегтерев В. Г. Совершенствование технологии и оборудования при содержании и комплексном использовании пчелиных семей в передвижных кассетных павильонах // Аграрная наука. 2018. №3. С. 43-48.
3. Залыбина Ю. Н., Григорьев В. С., Склюев В. В. Радиоэкологическая обстановка на территории деятельности приволжского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в 2016 году // Самарский научный вестник. Самарский государственный социально-педагогический университет. 2018. Т. 7, №2(23). С. 40-44.
4. Zemskova N. Ye., Sattarov V. N., Tuktarov V. R. Abnormalities of wing development in the working bees of Samara region // Морфология. 2018. Т. 153. №3. С.116.
5. Ишемгулов А. М. Оценка кормовой базы заказника «Алтын Солок» как основа для сохранения и размножения башкирской бортовой пчелы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. №1 (39). С. 239.
6. Критерии реабилитации объектов и территорий, загрязненных радионуклидами в результате прошлой деятельности: Часть 1. Выбор показателей для обоснования критериев реабилитации /И. К. Романович, И. П. Стамат, Н. И. Санжарова, А. В. Панов // Радиационная гигиена. Санкт-Петербург. 2016. Т. 9, № 4. С. 6–15.
7. Ларионов А. И. Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2014 год. Выпуск 25. Самара. 2015. 298 с.
8. Любимов А. И., Воробьева С. Л., Санникова Н. Ф. Антропогенное воздействие на жизнедеятельность и продуктивность пчелиных семей // Пчеловодство. 2014. №9. С. 14-15.
9. Мельникова Е. Н., Мельников М. М., Земскова Н. Е. Содержание в условиях лесостепной зоны Самарской области // Пчеловодство. 2019. №2. С. 12-13.
10. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году. Ежегодник/ Под ред. В. М. Шершакова, В. Г. Булгакова, С. М. Вакуловского и др. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2016. 348 с.
11. Распространение радионуклидов вблизи урановых разработок/Д. А. Зарединов [и др.] // Радиационная гигиена. Санкт-Петербург. 2016. Т.9, №4. С.37-40.

12. Самсонова И. Д. Медоносная ценность лесных и степных агролесоландшафтов // Пчеловодство. 2014. №1. С. 8-11.

13. Association of single nucleotide polymorphism to resistance to chalkbrood in *Apis mellifera* / B. Holloway, H. A. Sylvester, L. Bourgeois, T. E. Rinderer // Journal of Apicultural Research. 2012. Vol. 51.

14. Dead alive: deformed wing virus and *Varroa destructor* reduce the life span of winter honeybees / B. Dainat, J. D. Evans, Y. P. Chen, L. Gauthier, P. Neumann // Ahhl. Environ. Microbiol. 2013. №78(4). P. 981-987.

Reference

1. Vorob'eva S. L. Vliyanie abioticheskikh faktorov na produktivnost' pchel v usloviyakh Udmurtskoy Respubliki [Elektronnyy resurs]// Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. №1. URL: <http://www.science-education.ru/121-17806>

2. Degterev V. G. Sovershenstvovanie tehnologii i oborudovaniya pri sodержanii i kompleksnom ispol'zovanii pchelinykh semej v peredvizhnykh kassetnykh pavil'onah // Agrarnaya nauka. 2018. №3. P. 43-48.

3. Zalybina Yu. N., Grigor'ev V. S., Sklyuev V. V. Radiojekologicheskaya obstanovka na territorii deyatel'nosti privolzhskogo upravleniya po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushej sredy v 2016 godu // Samarskiy nauchnyy vestnik. Samarskiy gosudarstvennyy social'no-pedagogicheskij universitet. 2018. Vol.7, №2(23). P. 40-44.

4. Zemskova N. Ye., Sattarov V. N., Tuktarov V. R. Abnormalities of wing development in the working bees of Samara region // Morfologiya. 2018. Vol.153. №3. P.116.

5. Ishengulov A. M. Ocenka kormovoy bazy zakaznika "Altyn Solok" kak osnova dlya sohraneniya i razmnozheniya bashkirskoj bortevoj pchely // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. №1 (39). P. 239.

6. Kriterii rehabilitatsii ob'ektov i territorij, zagryaznennykh radionuklidami v rezul'tate proshloy deyatel'nosti: Chast' 1. Vybory pokazatelej dlya obosnovaniya kriteriev rehabilitatsii /I. K. Romanovich, I. P. Stamat, N. I. Sanzharova, A. V. Panov // Radiacionnaya gigiena. Sankt-Peterburg. 2016. Vol. 9, № 4. P. 6-15.

7. Larionov A. I. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii okruzhayushej sredy i prirodnym resursam Samarskoj oblasti za 2014 god. Vol. 25. Samara. 2015. 298 p.

8. Lyubimov A. I., Vorob'eva S. L., Sannikova N. F. Antropogennoe vozdejstvie na zhiznedejatel'nost' i produktivnost' pchelinykh semej // Pchelovodstvo. 2014. №9. P. 14-15.

9. Mel'nikova E. N., Mel'nikov M. M., Zemskova N. E. Soderzhanie v usloviyakh lesostepnoj zony Samarskoj oblasti // Pchelovodstvo. 2019. №2. P. 12-13.

10. Radiacionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v 2015 godu. Ezhegodnik/ Pod red. V. M. Shershakova, V. G. Bulgakova, S. M. Vakulovskogo i dr. Obninsk: VNI-IGMI-MCD, 2016. 348 p.

11. Rasprostraneniye radionuklidov vblizi uranovykh razrabotok/D. A. Zaredinov [i dr.] // Radiacionnaya gigiena. Sankt-Peterburg. 2016. Vol. 9, №4. P. 37-40.

12. Samsonova I. D. Medonosnaya cennost' lesnykh i stepnykh agroлесоландшафтов // Pchelovodstvo. 2014. №1. P. 8-11.

13. Association of single nucleotide polymorphism to resistance to chalkbrood in *Apis mellifera* / B. Holloway, H. A. Sylvester, L. Bourgeois, T. E. Rinderer // Journal of Apicultural Research. 2012. Vol. 51.

14. Dead alive: deformed wing virus and *Varroa destructor* reduce the life span of winter honeybees / B. Dainat, J. D. Evans, Y. P. Chen, L. Gauthier, P. Neumann // Ahhl. Environ. Microbiol. 2013. №78(4). P. 981-987.

Информация об авторе

Григорьев Василий Семенович, доктор биологических наук, профессор кафедры «Эпизоотология, патология и фармакология» ФБГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет (РФ, 446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2). **E-mail:** Grigoriev-vs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0889-3945>

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОНЯТИЯ «ЭНТРОПИЯ» В АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

TO THE QUESTION OF USING THE TERM «ENTROPY» IN THE AGROFORESTRY

К. Н. Кулик¹, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН
В. В. Бородычев², доктор сельскохозяйственных наук академик РАН
Ю. И. Васильев¹, доктор сельскохозяйственных наук, консультант
С. Н. Крючков¹, доктор сельскохозяйственных наук
K. N. Kulik¹, V. V. Borodichev², Yu. I. Vasilyev¹, S. N. Kryuchkov¹

¹ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград

²Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А.Н. Костякова, г. Волгоград

¹*Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Forest Reclamations of Russian Academy of Sciences, Volgograd*

²*All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after AN. Kostyakov, Volgograd*

Дата поступления в редакцию 10.10.2019
Received 10.10.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019
Submitted 20.12.2019

В статье рассматривается одно из фундаментальных понятий физики – «энтропия», введенное впервые в практику объяснения тепловых источников Клазиусом и Кельвином. Указывается, что шаблонное использование его может привести к неадекватным научным результатам. В частности, это относится и к рассмотрению агролесомелиоративных комплексов как термодинамической системы. Показано, что это опасно как с позиций теплообмена, так и с позиций порядка и хаоса. Поэтому нужно с большой осторожностью относиться к применению термина «энтропия». В противном случае можно договориться до признания тепловой смерти Вселенной. Но это тот абсурд, который привел к развитию специальной науки – «неравновесной термодинамики», которая как раз отвергает эту смерть. Конечно, в лесополосной клетке присутствуют круговые термодинамические процессы. Их, несомненно, нужно изучать с позиций фундаментальной науки. Но, это нужно делать с позиций круговых тепловых процессов (по типу цикла Карно), синергетических законов (характеризующих развитие открытых систем), потому что процессы вертикального теплообмена в межполосном пространстве развиваются по-другому, нежели на открытом пространстве. И связано это с изменением турбулентного обмена на лесомелиорированной территории.

The article discusses one of the fundamental concepts of physics – «entropy», introduced for the first time in the practice of explaining heat sources by Clazius and Kelvin. It is indicated that the template use of it can lead to inadequate scientific results. In particular, this applies to the consideration of agroforestry complexes as a thermodynamic system. It is shown that this is dangerous, both from the standpoint of heat transfer, and from the standpoint of order and chaos. Therefore, great care must be taken when applying the term «entropy». Otherwise, you can agree to the recognition of the thermal death of the «universe». But this is the absurdity that led to the development of a special science – «nonequilibrium thermodynamics», which, exactly, rejects this death. Of course, there are circular thermodynamic processes in the forest strip cell. They certainly need to be studied from the standpoint of fundamental science. But, this must be done from the standpoint of circular thermal processes (according to the Carnot cycle type), synergetic laws (characterizing the development of open systems), because vertical heat transfer processes in the interband space develop differently than in open space. And this is due to a change in turbulent exchange in the forest-reclaimed territory.

Ключевые слова: энтропия, начала термодинамики, межполосные клетки, системы лесных полос.

Key words: entropy, principles of thermodynamics, systems, interband cells, chaos, order.

Цитирование. Кулик К. Н., Бородычев В. В., Васильев Ю. И., Крючков С. Н. К вопросу об использовании понятия «энтропия» в агролесомелиорации. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 42-47. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-4.

Citation. Kulik K. N., Borodychev V. V., Vasiliev Yu. I., Kryuchkov S. N. To the question of using of the term «entropy» in the agroforestry. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4 (56). 42-47 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-4.

Введение. В настоящее время особый интерес традиционно вызывает понятие «энтропия», первоначально введенное в оборот Рудольфом Клазиусом (еще в позапрошлом веке) лишь для того, чтобы было более удобно описывать работу тепловых двигателей. У Р. Клазиуса оно характеризовало тепловые процессы равновесной термодинамики, характерные для закрытых систем, не обменивающихся тепловыми потоками с окружающим пространством. Это на определенном этапе развития науки о тепловых процессах сыграло большую роль, но породило другую проблему, поскольку позволяло говорить о возможности тепловой смерти Вселенной. Дело в том, что исходя из второго начала термодинамики в формулировках как Кельвина, так и Клазиуса, вытекает, что нельзя полностью все тепло обратить в работу, а вот все другие виды энергии беспрепятственно могут переходить в тепло [9, 11].

Материалы и методы. По крайней мере, исходя из формулировки второго начала термодинамики от противного не следует. Все это порождает мысль о том, что в природе всегда существует определенная асимметрия, способствующая в конце концов переходу всех видов энергии в тепловую. Это, по мнению ученых того времени, должно в итоге привести к всеобщему хаосу, а в перспективе – к тепловой смерти Вселенной (Эткинс П., 1987).

Иначе говоря, в понимании интерпретации, которое сформировалось в то время, процесс эволюции Вселенной в целом и всех ее структур в частности, имеет неизбежный конец. К сожалению, не очень приятный, а точнее, вообще неприятный.

Что же произошло в дальнейшем, что заставило ученых изменить это пессимистическое умозаключение. Дело в том, что был неопровержимо доказан факт справедливости вышеописанных процессов лишь для определенного класса структур, а именно для закрытых систем, где основным трендом является стремление к установлению термодинамического или механического равновесия. Например, теплоток в металлическом стержне с разной температурой материала по его концам, или эффект прыгающего мячика.

Что же касается другого рода систем – открытых, которые, по сложившемуся мнению ученых, только и имеют место в нашей Вселенной, то в них, во-первых, происходят обменные процессы с окружающим пространством, а во-вторых, могут формироваться потоки различных видов энергии и против термодинамического равновесия. Например, процесс в том же металлическом стержне с подогревом более холодного его конца. Иначе говоря, открытые системы ведут себя совершенно иначе, нежели закрытые. Их поведение не могут достаточно адекватно описывать законы равновесной термодинамики. Здесь применимы другие принципы, являющиеся составной частью неравновесной термодинамики, бурно развивающейся в последние несколько десятилетий. Но самым парадоксальным моментом оказалось то, что понятие «энтропия» может быть использовано в качестве надежного оценочного показателя поведения и таких сложных открытых систем, как природные экосистемы, и вообще открытых всевозможных систем в целом. Этот показатель оказался настолько универсальным и важным, что может играть главенствующую роль при оценке целого множества ситуаций макроскопических систем, в том числе в их глобальной трансформации и эво-

люции. Более того, было установлено, что энтропия — это фундаментальное понятие, стоящее в одном ряду с такими основополагающими и общепризнанными понятиями, как энергия, температура, являющиеся универсальными мерами различных форм движения материи.

Впоследствии обнаружилось также и то, что понятие «энтропия» связано с другими, не менее важными понятиями. К ним относятся количество информации, порядок и беспорядок в природе, социальной сфере и др. С помощью энтропии стало возможным количественно оценивать, на первый взгляд, сугубо качественные процессы образования новых структур [8]. Стало ясно, что не только порядок может естественным путем переходить в хаос, но и, наоборот, при определенных обстоятельствах хаос может порождать новые структуры. Например, в социальной сфере — цветные революции.

Представление о порядке и беспорядке породило бурное развитие оценок во всех сферах на стыке физики, химии, биологии, общественных наук, а также в новой отрасли — синергетике. Энтропия, таким образом, сейчас определяет поведение всех сложных открытых систем во всем их разнообразии. Но первоначально, как уже отмечалось, она характеризовала лишь тепловые процессы и в основе ее лежало второе начало термодинамики в формулировках Клаузиуса и Кельвина.

Такое широкое применение понятия «энтропия» обусловлено глубокой общностью и единством материального мира, возможностью образования более сложных структур из простых. Сейчас не вызывает сомнения то, что природа по своей сути достаточно проста и едина. Наукой доказан, например, факт относительно малого числа фундаментальных частиц в физике, ограниченном наборе генетических носителей в биологии. Но именно эти, простые сущности позволяют порождать огромное разнообразие явлений, наблюдающихся в окружающем нас материальном мире. Поэтому трудно недооценивать важность законов, которые определяют поведение сложных открытых систем в целом. К числу таких законов, несомненно, относятся, в какой-то мере, второе начало термодинамики, синергетика и др. С помощью этих законов делается возможным не только раскрытие существа чисто физических, химических или биологических явлений, но и создаются условия для понимания экологических и отчасти социальных проблем. Становится понятным то, что в действительности опасность для человечества на Земле заключается не в энергетическом, а в «энтропийном» кризисе. Проблема не в малости энергии на Земле (ее сохранение контролируется первым началом термодинамики), а в качестве этой энергии, которая динамично понижается (в этом случае энтропия возрастает). Именно этот фактор связан с отрицательным побочным эффектом при добыче энергетического сырья и дальнейшем его использовании. Это всегда наносит ущерб природе, сельскому хозяйству, почвам, а также способствует аридизации климата, возникновению эрозии и дефляции [2, 7]. Что же касается самого процесса получения энергии, то он неизбежно сопровождается тепловым и химическим загрязнением окружающей среды (выбросы тепловых станций, заводов и др.). Перед человеческой цивилизацией встают, таким образом, конкретные, притом очень серьезные, проблемы по урегулированию глобального энергетического баланса, и прежде всего рационального природопользования, разумного расходования высококачественных энергетических ресурсов, создания экологически чистых источников энергии. Энтропийное понимание и в этом плане играет очень важное значение.

Результаты и обсуждение. В последнее время и в агролесомелиоративной науке очень часто стало звучать понятие «энтропия». Особенно это относится к случаям, когда имеют дело с процессами на межполосной клетке в системах лесных полос [6]. При этом наиболее часто и категорично утверждается, что на межполосном про-

странстве, как термодинамическом объекте, энтропия всегда выше, чем на открытом пространстве. Причем совершенно не берется во внимание то, что понятие «энтропия» характеризует в данном случае меру беспорядка, неуравновешенности объекта.

Попробуем разобраться в правильности или неправильности отмеченного суждения и действительно ли лесомелиорация способствует повышению энтропии, а точнее, повышению хаоса, учитывая то, что чем выше энтропия, тем выше степень беспорядка. Если это суждение справедливо, то напрашивается вопрос, зачем вообще проводить лесомелиоративные работы. А если оно неверно, то в чем межполосные пространства системы лесных полос имеют преимущества по сравнению с открытым пространством и каковы законы их функционирования.

Для общего представления проблемы сначала отметим, что энтропия относится к самопроизвольным процессам между спонтанно образуемыми природными объектами и окружающей средой [3, 4]. Что же касается систем лесных полос, то они создаются субъектом и в них заложен субъективный фактор, заранее спланированный. Поэтому здесь обменные процессы как бы уже предусмотрены при проектировании, а сама характеристика «энтропия» уже определенным образом детерминирована.

Другое, на что следовало бы обратить внимание, – это класс происходящих в межполосных пространствах явлений. Иначе говоря, какие процессы рассматриваются – это тепловые, массообменные, энергетические или какие другие, каким образом их характеризовать, или это с позиций теплоэнергетических обменов, или с позиций хаоса и порядка. Не решив эти вопросы, в принципе нельзя объективно подойти к правильному пониманию состояния функционирования лесомелиорированной территории.

Начнем с оценки тепловых потоков. Здесь, сводя к энтропийному подходу и использованию второго начала термодинамики в формулировках как Кельвина, так и Клаузиуса, нетрудно доказать ошибочность постулата о повышении энтропии в процессе обмена тепловых и энергетических потоков между межполосной клеткой и открытым полем. Чтобы это было понятно, предположим, что тепловой и энергетический балансы в межполосной клетке, спонтанно сформировавшиеся в предшествующий период, оказываются выше, чем на открытом пространстве (энтропия повысилась в соответствии с увеличением тепловой энергии). Имея в виду, что межполосная клетка – это открытая система, способная обмениваться теплом с окружающим пространством, можно предположить, что направление тепловых потоков будет с межполосной клетки на открытое пространство (об этом говорит второе начало термодинамики). Обозначенное обстоятельство приведет к понижению энтропии в межполосном пространстве и повышению ее на открытой территории. Как видим, энтропия в этом случае не может повышаться в межполосной клетке. Кроме того, при таком рассуждении есть серьезная опасность скатиться к отвергнутой современной наукой идее «тепловой смерти Вселенной».

Оценка состояния межполосной клетки, с точки зрения термодинамической системы, может быть осуществлена также с позиций порядка и хаоса. Но и в этом случае постулат о повышении энтропии на межполосной клетке не оправдывается. Дело в том, что, если допустить справедливость высказываний о повышении энтропии на облесенном пространстве, и иметь в виду, что повышение энтропии говорит об увеличении хаоса, встает справедливый вопрос – зачем проводить лесную мелиорацию, не для того же, чтобы обеспечить негативные последствия.

Конечно, объяснение роли лесной мелиорации на пашне лежит совершенно в другой плоскости [1, 5, 10, 14], а энтропия здесь может быть приложена косвенно. Более того, для оценки эффекта от лесной мелиорации нельзя шаблонно и априорно применять термодинамические и другие – энергетические, тепловые, физические, биологические законы.

Вполне очевидно, и это не отвергается последними достижениями в области анализа сложных открытых систем [12, 13, 15], то в основе понимания складывающейся структуры условий на межполосной клетке лежат более общие фундаментальные законы, а именно законы синергетики и неравновесной термодинамики, первооткрывателями которых были немецкий ученый Г. Хаккен и русский по крови исследователь И. Пригожин, но о них подробно можно будет поговорить в следующих публикациях.

Заключение. В статье рассмотрено одно из фундаментальных понятий, касающихся поведения открытых неравновесных систем, – «энтропия». Освещен тезис, что шаблонно этот термин применять нельзя. Открытые системы, конечно, развиваются своеобразно. С этим столкнулись физики, когда встал вопрос о тепловой смерти Вселенной. Дело в том, что процесс теплообмена идет от более высокого потенциала к более низкому, работа стопроцентно может переходить в тепло, а вот о стопроцентном переходе тепла в работу можно только мечтать. Иначе говоря, в конце концов, все виды энергии должны перейти в тепло и вселенная должна взорваться. Тогда и были введены понятия «неравновесная термодинамика» и «открытые системы». Поле с лесными полосами – это открытая система и, конечно, связана с тепловыми процессами, а следовательно, и с термодинамическими законами здесь происходящими. Ее поведение необходимо изучать, но с понятием «энтропия» нужно обращаться осторожно, поскольку этот термин тесно связан с понятиями: «порядок» и «хаос».

Библиографический список

1. Волошенкова Т. В., Васильев Ю. И. Методические подходы к определению и оптимизации критериев почвозащитной эффективности севооборотов в регионах, подверженных дефляции // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 6. С. 40-43.
2. Кулик К. Н., Сажин А. Н., Рулев А. С. Глобальные процессы дефляции в степных экосистемах // Метеорология и гидрология. 2018. №9. С. 72-80.
3. Мазуров Г. И., Акселевич В. И., Йошпа А. Р. Учение об атмосфере. Ростов-на-Дону – Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2019. 131 с.
4. Назаров А. Г. Ноосферная энциклопедия: биосфера // Ноосферные исследования. 2015. № 1-2 (9-10). С. 129-168.
5. Рулев А. С., Пугачёва А. М. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной агролесомелиорации субаридных ландшафтов // Лесоведение. 2018. № 5. С. 389-398.
6. Рулев А. С. Энтропийная характеристика агролесоландшафтов // Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в Российской Федерации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2016. С. 222-226.
7. Сажин А. Н., Кулик К. Н., Васильев Ю. И. Погода и климат Волгоградской области. Волгоград, 2015. 342 с.
8. Хайтун С. Д. XXI век. На пути к новой научной картине мира. М.:URSS, 2019. 500 с.
9. Эткин В. А. Паралогизмы термодинамики. Saarbrücken: Palmarium Ac. Publ., 2015. 353 с.
10. Connectivity in dryland landscapes: shifting concepts of spatial interactions / G. S. Okin, M. M.-d.1 Heras, P. M. Saco, H. L. Throop, E. R. Vivioni, A. J. Parsons, J. Wainwright, D. P. C. Peters // Front. Ecol. Environ. 2015. Vol. 13. P. 20-27.
11. Etkin V. A. New Criteria of Evolution and Involution of the Isolated Systems // International Journal of Thermodynamics (IJOT). 2018. Vol. 21 (2). P. 120-126. doi: 10.5541/ijot.341037.
12. France J. Mathematical Modelling in Agriculture // Weed Research. 2006. Vol. 28 (6). P. 419-423. doi: 10.1111/j.1365-3180.1988.tb00822.x
13. The National Wind Erosion Research Network: Building a standardized long-term data resource for aeolian research, modeling and land management / N. P. Webb, J. E. Herrick, J. W. Van Zee, E. M. Courtright, C. H. Hugenholtz, T. M. Zobeck, G. S. Okin, T. E. Barchyn, etc. // Aeolian Research. 2016. Vol. 22. P. 23-36.
14. Threshold wind velocity dynamics as a driver of aeolian sediment mass flux / N. P. Webb, M. S. Galloza, T. M. Zobeck, J. E. Herrick // Aeolian Research. 2016. Vol. 20. P. 45-58.

15. Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools and Examples for Agriculture and Environment / D. Wallach, D. Makowski, J. W. Jones, F. Brun. Waltham, MA: Academic Press, 2014. 504 p.

Reference

1. Voloshenkova T. V., Vasil'ev Yu. I. Metodicheskie podhody k opredeleniyu i optimizacii kriteriev pochvozaschitnoj jeffektivnosti sevooborotov v regionah, podverzhennyh deflyacii // Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk. 2015. № 6. P. 40-43.
2. Kulik K. N., Sazhin A. N., Rulev A. S. Global'nye processy deflyacii v stepnyh jkosistemah // Meteorologiya i gidrologiya. 2018. №9. P. 72-80.
3. Mazurov G. I., Akselevich V. I., Ioshpa A. R. Uchenie ob atmosfere. Rostov-na-Donu - Taganrog: Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo un-ta, 2019. 131 p.
4. Nazarov A. G. Noosfernaya jenciklopediya: biosfera // Noosfernye issledovaniya. 2015. № 1-2 (9-10). P. 129-168.
5. Rulev A. S., Pugachjova A. M. Teoreticheskie i prikladnye aspekty nelinejnoj agrolesomelioracii subaridnyh landshaftov // Lesovedenie. 2018. № 5. P. 389-398.
6. Rulev A. S. Jentropijnaya harakteristika agrolesolandshaftov // Zashitnoe lesorazvedenie, melioraciya zemel', problemy agrojekologii i zemledeliya v Rossijskoj Federacii. Volgograd: VNIALMI, 2016. P. 222-226.
7. Sazhin A. N., Kulik K. N. Vasil'ev Yu. I. Pogoda i klimat Volgogradskoj oblasti. Volgograd, 2015. 342 p.
8. Hajtun S. D. XXI vek. Na puti k novoj nauchnoj kartine mira. M.:URSS, 2019. 500 p.
9. Etkin V. A. Paralogizmy termodinamiki. Saarbrücken: Palmarium Ac. Publ., 2015. 353 p.
10. Connectivity in dryland landscapes: shifting concepts of spatial interactions / G. S. Okin, M. M.-d.1 Heras, P. M. Saco, H. L. Throop, E. R. Vivioni, A. J. Parsons, J. Wainwright, D. P. C. Peters // Front. Ecol. Environ. 2015. Vol. 13. P. 20-27.
11. Etkin V. A. New Criteria of Evolution and Involution of the Isolated Systems // International Journal of Thermodynamics (IJOT). 2018. Vol. 21 (2). P. 120-126. doi: 10.5541/ijot.341037.
12. France J. Mathematical Modelling in Agriculture // Weed Research. 2006. Vol. 28 (6). P. 419-423. doi: 10.1111/j.1365-3180.1988.tb00822.x
13. The National Wind Erosion Research Network: Building a standardized long-term data resource for aeolian research, modeling and land management / N. P. Webb, J. E. Herrick, J. W. Van Zee, E. M. Courtright, C. H. Hugenholtz, T. M. Zobeck, G. S. Okin, T. E. Barchyn, etc. // Aeolian Research. 2016. Vol. 22. P. 23-36.
14. Threshold wind velocity dynamics as a driver of aeolian sediment mass flux / N. P. Webb, M. S. Galloza, T. M. Zobeck, J. E. Herrick // Aeolian Research. 2016. Vol. 20. P. 45-58.
15. Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools and Examples for Agriculture and Environment / D. Wallach, D. Makowski, J. W. Jones, F. Brun. Waltham, MA: Academic Press, 2014. 504 p.

Информация об авторах

Кулик Константин Николаевич, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов и адаптивного природопользования ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7124-8116>. E-mail: kulikkn@yandex.ru

Бородычев Виктор Владимирович, директор Волгоградского филиала ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова(400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>. E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Васильев Юрий Иванович, консультант ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID [https:// orcid. org/0000-0001-7799-5243](https://orcid.org/0000-0001-7799-5243). E-mail: turko-s@vfanc.ru

Крючков Сергей Николаевич, главный научный сотрудник ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ОРОШАЕМЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ

QUALITY OF SURFACE WATERS AND THEIR INFLUENCE ON THE ECOLOGICAL STABILITY OF IRRIGATED AGRO LANDSCAPES

В. В. Мелихов, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН

К. А. Родин, кандидат сельскохозяйственных наук

М. К. Тихонова, кандидат сельскохозяйственных наук

Д. А. Болотин, научный сотрудник

V. V. Melikhov, K. A. Rodin, M. K. Tikhonova, D. A. Bolotin

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
орошаемого земледелия, г. Волгоград*

Federal State Budget Scientific Institution

«All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture», Volgograd

Дата поступления в редакцию 10.10.2019

Received 10.10.2019

Дата принятия к печати 19.12.2019

Submitted 19.12.2019

Рассмотрены вопросы оценки качества оросительных вод, приведена характеристика основных водных объектов, расположенных на территории хозяйственной деятельности ФГУП «Орошаемое»: Варваровского и Береславского водохранилищ и прудов балки Песчаная, используемых для орошения. Наиболее благоприятным составом для орошения обладают воды Варваровского водохранилища, в котором отмечено минимальное содержание легкорастворимых солей. Наиболее высокая минерализация была в прудах балки Песчаная. При использовании воды для орошения сельскохозяйственных культур из Верхнего пруда опасность засоления почв средняя, а забор воды из пруда Нижний для орошения приведёт к вторичному засолению поливаемой площади, так как минерализация воды здесь очень высокая. По показателю величины ионного обмена вода Варваровского и Береславского водохранилищ пригодна для орошения, а вода прудов Верхний и Нижний – непригодна для орошения. Величина «выверенного» адсорбционно-натриевого отношения в Нижнем пруду указывает на высокую степень опасности осолонцевания почв, в связи с этим использовать её для полива сельскохозяйственных культур не рекомендуется. Использование воды «Верхнего» пруда для орошения приведет к постепенному накоплению солей в почве. При поливе водой из водохранилищ Береславское и Варваровское осолонцевание не ожидается. По концентрации нитратов в прудах балки Песчаная Нижний и Верхний поливная вода относится к категории среднего качества, а в Варваровском и Береславском водохранилищах – хорошего качества. Содержание в оросительных водах тяжелых металлов не выявило превышения порога допустимой концентрации.

The issues of assessing the quality of irrigation water are considered, the characteristics of the main water bodies located on the territory of the economic activity of the Federal State Unitary Enterprise «Oroshaemoe» are presented: Varvarovsky and Bereslavsky reservoirs and ponds of the Peschanaya beam used for irrigation. The most favorable composition for irrigation is the waters of the Varvarovsky reservoir, in which the minimum content of readily soluble salts is noted. The highest mineralization was in the ponds of the Peschanaya beam. When using water for irrigation of crops from the «Upper» pond, the risk of soil salinization is moderate, and water intake from the «Lower» pond for irrigation will lead to secondary salinization of the irrigated area, since water mineralization is very high here. In terms of ion exchange, the water of the Varvarovsky and Bereslavsky reservoirs is suitable for irrigation, and the water of the Verkhny and Nizhny ponds is not suitable for irrigation. The value of the «verified» sodium-adsorption ratio in the «Lower» pond indicates a high degree of risk of soil salinization; therefore, it is not recommended to use it for irrigation of crops. The use of water of the «Upper» pond for irrigation will lead to a gradual accumulation of salts in the soil. When watering from the reservoirs of Bereslavsky and Varvarovsky salinization is not expected. By the concentration of nitrates in the ponds of the Peschanaya and Nizhny Sandy irrigation

beams, the irrigation water belongs to the category of medium quality, and in the Varvarovsky and Bereslavsky reservoirs it is of good quality. The content of heavy metals in the irrigation waters did not reveal that the threshold for permissible concentration was exceeded.

Ключевые слова: качество оросительной воды, минерализация воды, процессы засоления, процессы осолонцевания.

Key words: irrigation water quality, water mineralization, salinization processes, salinization processes.

Цитирование. Мелихов В. В., Родин К. А., Тихонова М. К., Болотин Д. А. Качество поверхностных вод и их влияние на экологическую устойчивость орошаемых агроландшафтов. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 48-55. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-5.

Citation. Melikhov V. V., Rodin K. A., Tikhonova M. K., Bolotin D. A. Quality of surface waters and their influence on the ecological stability of irrigated agro landscapes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4 (56). 48-55 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-5.

Введение. Одной из приоритетных задач мелиорации сельскохозяйственных земель является повышение эффективности использования природных ресурсов и создание условий высокопродуктивного долголетия мелиорированных агроландшафтов [5, 6, 7, 10].

Восстановление и поддержание требуемого функционирования всех составляющих мелиорированного агроландшафта и управление взаимодействием между ними и экосистемами становится возможным при создании базы данных, собранной в результате контроля (мониторинга) за состоянием земельных, водных, биологических ресурсов, и обнаружения причин их изменения.

Совершенствование системы эколого-мелиоративного контроля поливных земель и управления биогеоценотическими процессами на базе полученных данных позволит своевременно предотвращать процессы, дестабилизирующие агроландшафты, и более полно реализовать потенциал их продуктивности.

Материалы и методы. Во Всероссийском НИИ орошаемого земледелия ведутся многолетние исследования по локальному мониторингу орошаемого массива, типичного для Волго-Донского междуречья, расположенного на южной оконечности Приволжской возвышенности и находящегося в хозяйственном обороте ФГУП «Орошаемое».

Объектом исследований являются поверхностные воды Варваровского, Береславского водохранилищ и прудов Верхний и Нижний, расположенных в административных границах землепользования ФГУП «Орошаемое».

В процессе исследований определяли качество поливной воды, закономерности изменения её показателей и оценку влияния на экологическую устойчивость орошаемых агроландшафтов. По результатам исследований формируется банк данных по качеству поливных вод в водоисточниках, расположенных на территории хозяйственной деятельности ФГУП «Орошаемое».

При разнообразии почвенного покрова, в котором протекают различные взаимодействия факторов, влияющие на процессы мелиоративных агроландшафтов, судить о качестве оросительной воды по одной и той же оценке невозможно [4, 9, 12, 13]. Научные основы оценки качества оросительной воды заложены А. Н. Костяковым, который предложил оценивать её по минерализации.

Н. Н. Антипов-Каратаев и Г. А. Кадер предложили определять пригодность воды для орошения по показателю величины ионного обмена K :

$$K = \frac{rCa + rMg}{rNa + 0,238S}, \quad (1)$$

где K – коэффициент ионного обмена; rCa , rMg , rNa – эквивалентное содержание химических элементов в воде; S – минерализация воды, г/л.

При $K \leq 1$ вода непригодна для орошения, а при $K > 1$ пригодна (4).

В Америке, России и некоторых других странах оросительная вода оценивается по натрий-адсорбционному отношению. Однако при низкой минерализации оросительных вод (< 1 г/л) и слабой угрозе засоления ирригационные воды могут вызывать значительную опасность осолонцевания.

Поэтому сельскохозяйственным департаментом ООН предложено учитывать дополнительный эффект осолонцевания почв в соответствии с активностью ионов в воде по приведённому показателю SAR^* [1, 8]:

$$SAR^* = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}} \times [1 + (8,4 - pH_c)], \quad (2)$$

где pH – расчетная величина, учитывающая состав катионов и ее щелочность.

При $SAR^* < 6$ осолонцевание не ожидается; при SAR^* , равном 6 — 9, возможно постепенное накопление солей в почве; при $SAR^* > 9$ может произойти осолонцевание почв.

С. Я. Бездниной на основании исследований, проведённых за многолетний период, предложена комплексная оценка пригодности воды для орошения, которая учитывает степень влияния ее на почву в зависимости от возделываемых сельскохозяйственных культур и от содержания в поливной воде пестицидов, тяжелых металлов [1].

Для защиты природных ресурсов мониторинг качества воды для орошения необходимо проводить не только в течение всего вегетационного периода, но и с течением времени (годы) [12].

Данные методики использовались нами при исследовании характеристик водных объектов, расположенных на территории ФГУП «Орошаемое». Химический состав вод определялся по ГОСТ 17.1.3.07-82 в соответствии с природоохранными нормативными документами по С. Я. Бездниной [1].

Результаты и обсуждение. В последние годы наблюдается тенденция уменьшения объемов забора пресной воды из поверхностных водных объектов и сброса в них загрязненных сточных вод. Одной из основных причин сокращения объемов забора воды для поливов является уменьшение орошаемых угодий, а также высокая стоимость подачи 1 м^3 воды для полива возделываемых сельхоз культур [11]. В связи с тем, что в Волгоградской области в основных водоисточниках качественный показатель воды в основном складывается из поступающих с верховьев рек Волги и Дона загрязняющих веществ, улучшения качества Донской и Волжской воды не происходит [2].

Определение пригодности поливных вод для орошения, опасность осолонцевания и засоления почв при поливе сельхозкультур водами из изучаемых водоисточников проводилось нами по величине минерализации, коэффициенту ионного обмена, «выверенному» адсорбционно-натриевому отношению и содержанию нитратов и тяжёлых металлов.

Анализ результатов исследований показал (рисунок 1), что в водах Варваровского и Береславского водохранилищ отмечается самое низкое содержание легкорастворимых солей, которое в среднем за годы исследований не превышало $0,87$ и $0,98 \text{ г/дм}^3$, а средняя минерализация воды в водохранилищах в течение оросительного периода изменяется от $0,72$ до $1,19$ и $0,66$ до $1,53 \text{ г/дм}^3$ соответственно. Однако минерализация воды в этих водохранилищах выше, чем в Волгоградском и Цимлянском водохранилищах, в которых она изменяется от $0,28$ до $0,31 \text{ г/дм}^3$ и от $0,38$ до $0,55 \text{ г/дм}^3$ соответственно [3].

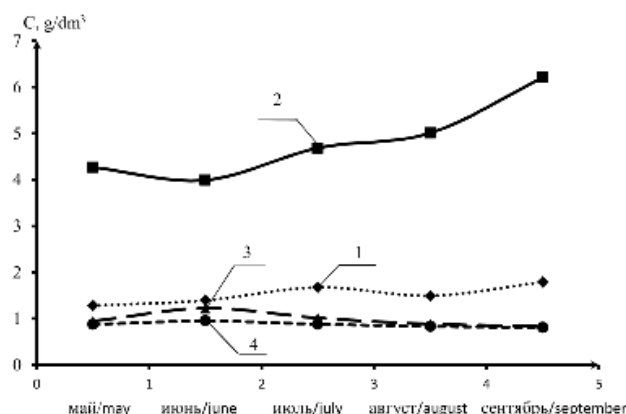


Рисунок 1 – Минерализация воды (C) в водоисточниках (среднее за 2014-2017 гг.):

1 – пруд Верхний; 2 – пруд Нижний; 3 – Береславское водохранилище;
4 – Варваровское водохранилище

Figure 1 – Mineralization of water (C) in water sources (average for 2014-2017):

1 – pond Upper; 2 – pond Lower; 3 – Bereslavskoye reservoir; 4 – Varvarovskoye reservoir

Из анализа данных видно, что из исследуемых водоёмов максимальная общая минерализация поверхностных вод отмечается в пруду «Нижнем» и в среднем за годы исследований в начальный период орошения она составляла $4,27 \text{ г/дм}^3$, а к концу периода она увеличилась до $6,20 \text{ г/дм}^3$. Минерализация воды из пруда Верхний была ниже и за годы исследований изменялась от $1,28$ до $1,79 \text{ г/дм}^3$.

В связи с этим при использовании воды для орошения сельскохозяйственных культур из пруда Верхний возможность засоления почвы средняя, потому что её минерализация составляет $1,53 \text{ г/дм}^3$. Забор воды из пруда Нижний для орошения приведёт к вторичному засолению поливаемой площади, так как минерализация воды здесь очень высокая.

Из данных рисунка 1 видно, что по показателю величины ионного обмена вода Варваровского и Береславского водохранилищ пригодна для орошения ($K > 1$), воды прудов Верхний, Нижний – для орошения непригодны ($K \leq 1$).

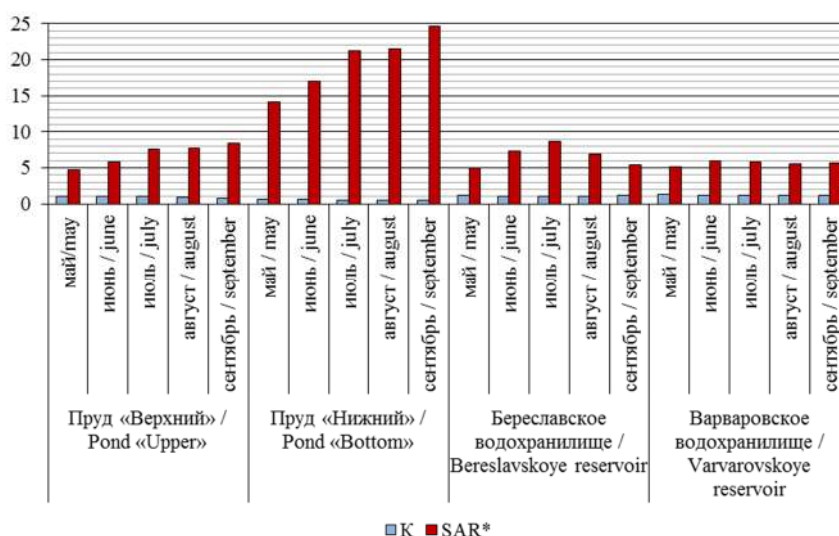


Рисунок 2 – Показатели оценки качества оросительной воды по коэффициенту ионного обмена (K) и «выверенному» адсорбционно-натриевому отношению (SAR*) (среднее за 2014-2017 гг.)

Figure 1 – Indicators of irrigation water quality assessment by ion exchange coefficient (K) and «verified» adsorption-sodium ratio (SAR*) (average for 2014-2017)

В Нижнем пруду величина «выверенного» адсорбционно-натриевого отношения ($SAR^* 14,16-24,61$), указывает на высокую степень опасности осолонцевания почв, в связи с этим использовать её для полива сельскохозяйственных культур не рекомендуется (рисунок 2). С середины летнего периода в водах «Верхнего» пруда SAR^* составляет более 6,0, поэтому использование её для орошения приведет к постепенному накоплению солей в почве. При поливе водой из водохранилищ Береславского и Варваровского осолонцевание не ожидается, так как $SAR^* < 6$.

Таблица 1 – Содержание нитратов в поверхностных водах (NO_3 мг/дм³)

Table 1 – Nitrate Content in surface waters (NO_3 mg/dm³)

Дата отбора / Date of selection		Место отбора / Place of selection			
		Пруд Верхний / Pond «Upper»	Пруд Нижний / Pond «Bottom»	Береславское водохранилище / Bereslavskoye reservoir	Варваровское водохранилище / Varvarovskoye reservoir
май / may	2014	5,31	12,84	2,79	3,94
	2015	5,22	13,28	3,05	3,59
	2016	5,31	12,40	2,61	2,74
	2017	8,41	8,85	2,92	2,92
average		6,06	11,84	2,84	3,30
июнь / june	2014	5,45	10,18	3,85	3,59
	2015	4,96	13,28	3,05	3,59
	2016	7,53	13,72	6,42	4,43
	2017	4,87	11,07	3,67	3,01
average		5,70	12,06	4,25	3,66
июль / july	2014	5,09	9,74	3,28	3,05
	2015	5,45	15,49	3,85	3,19
	2016	9,30	19,04	7,08	6,64
	2017	6,11	11,95	3,94	3,94
average		6,49	14,06	4,54	4,21
август / august	2014	6,24	17,27	3,05	3,50
	2015	6,24	13,72	3,45	3,45
	2016	12,40	27,45	11,07	6,64
	2017	3,94	13,28	4,34	3,59
average		7,21	18,15	5,48	4,29
сентябрь / september	2014	6,64	19,92	3,50	5,22
	2015	5,98	15,49	2,17	2,43
	2016	20,81	8,85	6,42	6,55
	2017	7,53	17,7	4,34	3,45
average		10,24	15,38	4,12	4,41

Наибольшее содержание нитратов было отмечено в поверхностных водах пруда Нижний, которое в среднем за годы исследований повышалось до 18,15 мг/дм³ (таблица 1).

Анализ данных по содержанию нитратов в поверхностных водах показывает (таблица 1), что по концентрации нитратов от 5,70 до 18,15 мг/дм³ поливная вода прудов Нижний и Верхний относится к среднему качеству (5-30 мг/л), а водохранилищ Варваровского и Береславского – хорошего качества (<5 мг/л).

Определение тяжелых металлов в поверхностных водах не выявило превышения порога допустимой концентрации (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание тяжёлых металлов в поверхностных водах

Table 2 – Heavy metal Content in surface waters

Дата отбора / Date of selection		Место отбора / Place of selection							
		Пруд Верхний / Pond «Upper»		Пруд Нижний / Pond «Bottom»		Береславское водо- хранилище / Bereslavskoye reservoir		Варваровское во- дохранилище / Varvarovskoye reservoir	
		Тяжелые металлы, мг/дм ³ / Heavy metals, mg / dm ³							
		Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb
май / may	2014	0,019	0,000	0,017	0,003	0,010	0,004	0,020	0,006
	2015	0,004	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000
	2016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2017	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
июнь / june	2014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2015	0,000	0,000	0,014	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
	2016	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
июль / july	2014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,006	0,000
	2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,000
август / august	2014	0,000	0,000	0,003	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000
	2015	0,003	0,000	0,018	0,000	0,009	0,012	0,006	0,011
	2016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
сентябрь / september	2014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
	2015	0,003	0,000	0,005	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
	2016	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000

Определение тяжелых металлов в поверхностных водах не выявило превышения порога допустимой концентрации (таблица 2). Высокоопасный металл кадмий (ПДК Cd 0,01мг/дм³) и медь (умеренноопасный метал ПДК Cu 0,2 мг/дм³) не были обнаружены. Свинец – высокотоксичный элемент (ПДК (Pb) – 0,03 мг/дм³) присутствовал в незначительных количествах. Цинк (малоопасный элемент ПДК для Zn составляет 1,0) присутствовал в небольших концентрациях.

Закключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что наиболее благоприятным составом для орошения обладают воды Варваровского водохранилища. Показатели качества воды Варваровского и Береславского водохранилищ соответствуют требованиям ГОСТ 17.1.2.03-90 и могут быть использованы для орошения. Воды прудов Нижний и Верхний не рекомендуется использовать для полива сельскохозяйственных культур, так как может произойти засоление и осолонцевание почв различной степени.

Библиографический список

1. Безднина С. Я. Научные основы оценки качества воды для орошения: монография. Рязань: Изд. РГТУ. 2013. 171 с.
2. Водные ресурсы Волгоградской области и проблемы их использования/ Д. А. Болотин, Н. Н. Дубенок, А. Г. Болотин, С. Д. Фомин, М. К. Тихонова // Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса. 2018. №4. С. 191-197. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-27.
3. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2016 году» / ред. колл.: В. Е. Сазонов [и др.]: комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Волгоград: «ТЕМПORA». 2017. 300 с.

4. Зибаров А. А., Панова Т. И., Тегесов Д. С. Экологическая устойчивость орошаемых агроландшафтов Волго-Донского междуречья // Орошаемое земледелие. 2014. № 3. С. 9-10.
5. Новиков А. А., Комарова О. П. Мелиорация земель - основа устойчивого развития сельского хозяйства // Орошаемое земледелие. 2017. № 4. С. 5-6.
6. Новиков А. А. Мелиорация – стратегическая основа развития российского АПК // Орошаемое земледелие. 2016. № 3. С. 25-26.
7. Новиков А. А. Орошение: все грани // Орошаемое земледелие. 2014. № 4. С. 21-22.
8. О качестве воды для сельскохозяйственного водоснабжения и мерах по его обеспечению / Н. Н. Дубенок, С. Д. Исаева, Е. В. Овчинникова, Н. С. Быстрицкая // Известия Нижневолжского АУК: наука и высшее образование. 2015. № 3. С. 20-25.
9. Плодородие почвы и продуктивность пашни орошаемых севооборотов в зависимости от применяемых удобрений и системы обработки почвы / Н. П. Мелихова, В. Ф. Мамин, А. А. Зибаров, Д. С. Тегесов // Мелиорация в России: потенциал и стратегия развития: международная научно-практическая интернет-конференция, посвященная 50-летию масштабной программы развития мелиорации земель. 2016. С. 234-241.
10. Тихонова М. К., Болотин Д. А., Тегесов Д. С. Мониторинг водных нагрузок в орошаемых агроландшафтах // Орошаемое земледелие. 2014. № 4. С. 9-10.
11. Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии / Н. Н. Дубенок, Д. А. Болотин, А. А. Новиков, А. Г. Болотин // Известия Нижневолжского АУК: наука и высшее образование. 2018. № 3(51). С. 83-90.
12. Goher Mohamed E., Mahdy Sayed M., Abdo Mohamed H. Water quality status and pollution indices of Wadi El-Rayan lakes, El-Fayoum, Egypt // El- Sustainable water resources management. 2019. Vol. 5. Is. 2. P. 387-400. DOI 10.1007/s40899-017-0162-z.
13. Laze P., Rizani S. Assessment of irrigation water quality of dukagjin basin in Kosovo // Agriculture & Food Journal of International Scientific Publication. 2016. Vol. 4.

Reference

1. Bezdina S. Ya. Nauchnye osnovy ocenki kachestva vody dlya orosheniya: monogra-fiya. Ryazan': Izd. RGATU. 2013. 171 p.
2. Vodnye resursy Volgogradskoj oblasti i problemy ih ispol'zovaniya/ D. A. Bolotin, N. N. Dubenok, A. G. Bolotin, S. D. Fomin, M. K. Tihonova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo kompleksa. 2018. №4. P. 191-197. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-27.
3. Doklad "O sostoyanii okruzhayushej sredy Volgogradskoj oblasti v 2016 godu" / red. koll.: V. E. Sazonov [i dr.]: komitet prirodnih resursov, lesnogo hozyajstva i jkologii Volgogradskoj oblasti. Volgograd: "TEMPORA". 2017. 300 p.
4. Zibarov A. A., Panova T. I., Tegesov D. S. Jekologicheskaya ustojchivost' oroshaemyh agrolandshaftov Volgo-Donskogo mezhdurech'ya // Orosshaemoe zemledelie. 2014. № 3. P. 9-10.
5. Novikov A. A., Komarova O. P. Melioraciya zemel' - osnova ustojchivogo razvitiya sel'skogo hozyajstva // Orosshaemoe zemledelie. 2017. № 4. P. 5-6.
6. Novikov A. A. Melioraciya – strategicheskaya osnova razvitiya rossijskogo APK // Orosshaemoe zemledelie. 2016. № 3. P. 25-26.
7. Novikov A. A. Oroshenie: vse grani // Orosshaemoe zemledelie. 2014. № 4. P. 21-22.
8. O kachestve vody dlya sel'skohozyajstvennogo vodosnabzheniya i merah po ego obespecheniyu / N. N. Dubenok, S. D. Isaeva, E. V. Ovchinnikova, N. S. Bystrickaya // Izvestiya Nizhnevolzhskogo AUK: nauka i vysshee obrazovanie. 2015. № 3. P. 20-25.
9. Plodorodie pochvy i produktivnost' pashni oroshaemyh sevooborotov v zavisimosti ot primenyaemyh udobrenij i sistemy obrabotki pochvy/ N. P. Melihova, V. F. Mamin, A. A. Zibarov, D. S. Tegesov // Melioraciya v Rossii: potencial i strategiya razvitiya: mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya internet-konferenciya, posvyaschennaya 50-letiyu masshtabnoj programmy razvitiya melioracii zemel'. 2016. P. 234-241.
10. Tihonova M. K., Bolotin D. A., Tegesov D. S. Monitoring vodnyh nagruzok v oroshaemyh agrolandshaftah // Orosshaemoe zemledelie. 2014. № 4. P. 9-10.
11. Jefferktivnost' ispol'zovaniya vodnyh resursov v oroshaemom zemledelii/ N. N. Dubenok, D. A. Bolotin, A. A. Novikov, A. G. Bolotin // Izvestiya Nizhnevolzhskogo AUK: nauka i vysshee obrazovanie. 2018. № 3(51). P. 83-90.

12. Goher Mohamed E., Mahdy Sayed M., Abdo Mohamed H. Water quality status and pollution indices of Wadi El-Rayan lakes, El-Fayoum, Egypt // El- Sustainable water resources management. 2019. Vol. 5. Is. 2. P. 387-400. DOI 10.1007/s40899-017-0162-z.

13. Laze P., Rizani S. Assessment of irrigation water quality of dukagjin basin in Kosovo // Agriculture & Food Journal of International Scientific Publication. 2016. Vol. 4.

Информация об авторах

Мелихов Виктор Васильевич, член корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский НИИ орошаемого земледелия (РФ 400002, Волгоград Тимирязева 9).

E-mail: vnioz@yandex.ru, телефон: (8442) 60-24-33, 8 9178483249, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-8240-3385>.

Родин Константин Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, и.о зав. отделом оросительных мелиораций ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия. (Р.Ф. 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), тел.: 8(8442)60-23-30; 8-903-467-08-41.

E-mail: rodin.ka@yandex.ru, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-3808-2729>.

Тихонова Маргарита Константиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия. (Р.Ф. 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), тел.: 8(8442)60-23-25; 8-905-333-08-43.

E-mail: margarita.tikhonova.73@mail.ru, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-8451-0443>.

Болотин Дмитрий Александрович, научный сотрудник отдела оросительных мелиораций ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия (Р.Ф. 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), тел.: 8(8442)60-23-25; 8-902-653-21-66.

E-mail: da.bolotin@yandex.ru, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0533-1998>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 634.22:581.522.4(470.45)

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-6

ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ И ЖАРОСТОЙКОСТИ СОРТОВ И ФОРМ КОСТОЧКОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

THE ASSESSMENT OF DROUGHT RESISTANCE AND HEAT RESISTANCE OF VARIETIES AND FORMS OF STONE FRUITS IN THE CONDITIONS OF THE VOLGOGRAD REGION

А. В. Солонкин, доктор сельскохозяйственных наук

А. В. Семенютина, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

О. А. Никольская, старший научный сотрудник

Е. Н. Киктева, младший научный сотрудник

A. V. Solonkin, A. V. Semenytina, O. A. Nikolskaya, E. N. Kikteva

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН)*

*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences*

Дата поступления в редакцию 21.10.2019

Received 21.10.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Submitted 20.12.2019

В свете существенных изменений климата в сторону аридизации вопросы изучения засухоустойчивости и жаростойкости плодовых культур с целью выявления генотипов, обладающих наиболее высокой адаптивностью по этим параметрам, являются весьма актуальными. В связи с этим на базе лаборатории плодовых культур Нижне-Волжского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, в течение последних нескольких лет проводятся исследования по изучению адаптивной устойчивости, в том числе к термическим условиям, ко-

сточковых культур, таких как слива домашняя (*Prunus domestika* L.), слива диплоидная (*Prunus salicina* L., *rossica* E.), вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.), черешня (*Prunus avium* L.), с целью выделения лучших образцов для дальнейшего использования в производственных и селекционных целях. В рамках исследований изучалось 37 сортов и элитных форм сливы, алычи, вишни и черешни селекции ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии РАН» и других НИИ. Экспериментальные посадки находятся в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области, на правом берегу р. Волга (49°38' с.ш. и 45°11' в.д.). Почва светло-каштановая, солонцеватая, легкого механического состава, гумус – 1,8 – 2,0 %, pH=7,5. Данные исследования проводятся как полевыми, так и лабораторными методами. В результате выделены засухоустойчивые и жаростойкие формы сливы: Осенний сувенир, Кубанская ранняя, Анжелика, №1726, №2158, №1788, Андреевская, Богатырская, Венгерка кавказская, Синяя птица, Ранняя, Колонновидная; черешни – Амулет, Эйфория, Александрия, Крупноплодная и вишни – Чудо-вишня. Данные сорта и формы по своим параметрам засухоустойчивости и жаростойкости подходят для культивирования в промышленном и частном садоводстве в острозасушливых условиях Нижневолжского региона. Помимо использования в производстве выделенные сорта и формы могут с успехом использоваться в селекционном процессе в качестве источников засухоустойчивости при создании новых адаптивных сортов.

In the light of significant climate changes towards aridization, the questions of studying drought resistance and heat resistance of fruit crops in order to identify genotypes that have the highest adaptability in these parameters are very relevant. In this regard, on the basis of the laboratory of fruit crops of the Lower Volga Scientific Research Institute of Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated land reclamation and Protective afforestation of the Russian Academy of Sciences, over the past few years, studies have been carried out to study adaptive resistance, including to thermal conditions, stone fruit crops such as home plum (*Prunus domestika* L.), diploid plum (*Prunus salicina* L., *rossica* E.), common cherry (*Prunus cerasus* L.), sweet cherry (*Prunus avium* L.), in order to highlight the best samples for further use in production and breeding purposes. As part of the research, 37 varieties and elite forms of plums, cherry plums, cherries and cherries of the selection of Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences» and other research institutes were studied. The experimental plantings are located in the dry steppe zone of chestnut soils of the Volgograd region, on the right bank of the river. Volga (49°38' N and 45°11' E). The soil is light chestnut, saline, of light mechanical composition, humus – 1,8 – 2,0%, pH = 7,5. These studies are carried out both by field and laboratory methods. As a result, drought-resistant and heat-resistant forms of plum are distinguished: Autumn souvenir, Early Kuban, Angelina, No. 1726, No. 2158, No. 1788, Andreevskaya, Bogatyrskaya, Caucasian Hungarian, Bluebird, Early, Column-shaped; cherries - Amulet, Euphoria, Alexandria, Large-fruited and cherries - Miracle cherry. These varieties and forms in their parameters of drought resistance and heat resistance are suitable for cultivation in industrial and private gardening in extremely arid conditions of the Lower Volga region. In addition to using them in production, the selected varieties and forms can be successfully used in the breeding process as sources of drought tolerance when creating new adaptive varieties.

Ключевые слова: засухи, засухоустойчивость косточковых культур, адаптивность косточковых культур, сорта сливы, сорта вишни, сорта черешни, жаростойкость косточковых культур.

Key words: drought, variety, drought tolerance, adaptability, plum, cherry, sweet cherry, heat resistance.

Цитирование. Солонкин А. В. Семенютина А. В., Никольская О. А., Киктева Е. Н. Оценка засухоустойчивости и жаростойкости сортов и форм косточковых культур в условиях Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 55-64. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-6.

Citation. Solonkin A. V., Semenuytina A. V., Nikolskay O. A., Kikteva E. N. The assessment of drought resistance and heat resistance of varieties and forms of stone fruits in the conditions of the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 55-64 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-6.

Введение. При подборе сортимента плодовых культур для успешного возделывания в конкретных климатических условиях требуется внимательное изучение их устойчивости к абиотическим факторам внешней среды. К наиболее значимым из них относятся недостаток влаги и высокие температуры в летний период, зачастую оказывающие существенное негативное воздействие на состояние большинства культур и определяющие во многом продуктивность, регулярность плодоношения и качество плодов у различных сортов. Подобные влияния окружающей среды наиболее характерны для южных регионов России, страдающих от недостатка влаги, с длинными засушливыми периодами. В связи с этим вопросы изучения засухо- и жароустойчивости сортов с целью выявления генотипов, обладающих наиболее высокой адаптивностью по этим параметрам, являются весьма актуальными [7, 5, 10, 13, 14].

Изучение засухо- и жаростойкости плодовых и древесных культур проводилось рядом исследователей, по определению которых засухоустойчивость – это способность растений произрастать при недостатке воды и высоких температурах за счет разнообразных морфологических признаков и физиологических механизмов адаптации к стрессовым условиям. Растения, перенесшие небольшую засуху, становятся более устойчивыми к обезвоживанию, переносят повторную засуху с наименьшими потерями [8, 9].

Другими словами, засухоустойчивость определяется как сложное явление, складывающееся из явлений жаростойкости, т.е. способности выносить перегрев, и засухоустойчивости в узком смысле слова, т.е. способности выносить обезвоживание. Согласно этому определению засухоустойчивыми можно называть растения, которые в процессе онтогенеза способны приспосабливаться к воздействию засухи и осуществлять в этих условиях нормальный рост, развитие и воспроизведение благодаря наличию ряда свойств, возникающих в процессе эволюции под влиянием условий существования [1, 2, 4, 6]. Многие из этих факторов имеют отрицательную корреляцию с продуктивностью. Например, закрытие устьиц при засухе приводит не только к снижению интенсивности транспирации, но и к падению интенсивности фотосинтеза, так как в растение перестает поступать углекислый газ. Поэтому в агрономической практике актуальна оценка полевой засухоустойчивости, т.е. способности растений давать высокий урожай при засухе [8].

Материалы и методы. Работа проводится в лаборатории плодовых культур НВНИИСХ – филиала ФНЦ агроэкологии РАН согласно государственному заданию № 0713-2019-0009. В рамках исследований изучалось 37 сортов и элитных форм сливы, алычи, вишни и черешни селекции ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии РАН» и других НИИ. Оценка засухоустойчивости генотипов проводилась согласно общепринятым методическим рекомендациям [12]. В задачи исследований входил отбор устойчивых форм, представляющих интерес для дальнейшего селекционного и практического применения.

Результаты и обсуждение. Территория лаборатории, где проводятся исследования, расположена в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области, на правом берегу р. Волга. Почва светло-каштановая, солонцеватая, легкого механического состава, гумус – 1,8 – 2,0 %, pH=7,5. Средняя сумма положительных температур за вегетационный период (апрель – октябрь) 2850° - 3050°. За годы исследования количество осадков в вегетационный период (апрель - сентябрь) распределилось следующим образом: 138,5 мм в 2018 г. и 169,2 мм в 2019 г. при среднемноголетней норме 190,4 мм. Отмечалось также неравномерное выпадение осадков по месяцам. Так, наименьшее количество осадков наблюдалось в июне 2018 г. 7,2 мм, в августе 2018 г. – 0,8 мм, в июне 2019 г. – 13,9 мм, в августе 2019 г. – 3,8 мм. Среднемесячные температуры за период исследования были 16,4 – 27,30 °С, что на 2-4 °С выше нормы. Максимальная температура зафиксирована в июне 2018 г. – 38,20 °С, в августе 2019 г. – 37,30 °С, в

июне 2019 г. – 37,20 °С. Влажность воздуха колебалась от 24 до 58 %, что на 10-15 % ниже среднегодовых. Минимальные значения зафиксированы в мае, июне и августе 2018 г. – 25 %, 24 %, 27 %, и в июне 2019 г. – 25 %.

В Волгоградской области в летний период регулярно наблюдаются засухи и воздушные засухи, которые приводят к значительному снижению запасов почвенной влаги. За период исследований количество засуховых дней в летний период составило от 19 до 30. Определение засухоустойчивости в лабораторных условиях проводилось по потере воды после подвядания и способности к быстрому восстановлению оводненности. Для изучения жаростойкости моделировали высокотемпературное воздействие на листья в термостате (t 50 °С, 1,5 ч) с последующим их подвяданием.

За период исследования общее содержание воды в листьях сливы составило от 48,4 до 74,0 %, в листьях вишни и черешни – от 44,2 до 72 % (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Водный режим листьев сливы в лаборатории плодовых культур НВНИИСХ – филиала ФНЦ агроэкологии РАН (при критических летних температурах 37,2 °С-38,2 °С)

Table 1 – Water regime of leaves of plum in the laboratory of fruit crops NUNISH – branch of the Federal scientific center for Agroecology Russian Academy of Sciences (at the critical summer temperature of 37,2 °С-38,2 °С)

Сорт, форма / Cultivar, form	Содержание во- ды в листьях, % / Water content in leaves, %	Дефицит воды в листьях, % / Water deficit in leaves, %	Потеря воды листьями, % / Leaves lose water, %		
			2 ч. 2 hrs.	4 ч. 4 hrs.	6 ч. 6 hrs.
Слива домашняя/Damsons					
Волгоградская (к.)	62	27,4	13,5	21,4	27,9
№2158	56	16,7	15,7	20,7	24,9
Венгерка корнеевская	62,4	18,9	13,7	18,0	22,1
Ренклод зеленый	65,3	23,1	11,0	17,0	21,8
Богатырская	67,5	23,5	10,3	14,1	17,9
Синяя птица	67	16,2	11,3	15,0	18,5
№1726	68,3	11,4	15,0	15,9	18,4
Кубанская ранняя	64,7	13,6	14,4	19,1	23,5
Венгерка кавказская	65	21,3	8,5	12,4	16,3
Осенний сувенир	66,7	6,3	6,1	10,8	13,5
Татьяна	48,4	26	16,6	21,5	26,2
Андреевская	58,7	19,6	8,6	13,1	16,8
№1864	59	16,9	10,8	15,1	18,2
№1788	65,5	19,02	10,4	14,1	17,1
№1738	67,3	19,6	17,0	21,2	24,4
Слива диплоидная / Plum diploid					
Сарматка (контроль)	63,6	27,0	8,7	14,6	16,5
Гек	56,3	26,5	12,5	19,4	26,3
Озарк Премьер	60,3	24,4	4,3	14,9	20,3
Колонновидная	63,8	20,3	10,1	14,4	18,1
Дынная	61,5	20,0	19,7	34,2	47,3
Ранняя	66	21,7	8,7	13,4	17,8
Анжелина	74	15,9	10,5	15,8	20,6
Блек сплендер	64,3	26,4	10,8	15,2	20,0
Глобус	63,6	19,1	15,5	23,4	31,3

Наибольшее содержание воды отмечалось в листьях сливы диплоидной: Анжелина – 74,0 %, в листьях сливы домашней: Богатырская – 67,5 %, №1726 – 68,3 % и №1738 – 67,3 %. Наибольшее содержание воды в листьях черешни и вишни наблюдалось у сортов Александрия – 72 %, Амулет – 64 %, Чудо-вишня – 67 % и Шарада – 59,5 %. Меньше воды содержалось в листьях сортов и форм сливы домашней: Татьяна – 48,4 %, Андреевская – 58,7 %, №2158 – 56,0 %, №1864 – 59,0 %, а также в листьях сливы русской Гек – 56,3 % (таблица 1). Среди черешни и вишни меньшее содержание воды в листьях отмечалось у сортов Ярославна – 44,2 %, и Леся – 54,4 % (таблица 2).

Таблица 2 – Водный режим листьев вишни и черешни
(при критических летних температурах 37,2 °C-38,2 °C)

Table 2 – Water regime of cherry and cherry leaves
(at the critical summer temperature of 37,2 °C-38,2 °C)

Сорт, форма / Cultivar, form	Содержание воды в листьях, % / Water content in leaves, %	Дефицит воды в листьях, % / Water deficit in leaves, %	Потеря воды листьями, % / Leaves lose water, %		
			2 ч. 2 hrs.	4 ч. 4 hrs.	6 ч. 6 hrs.
Вишня обыкновенная / Common cherry					
Любимица (контроль)	60,2	17,8	12,3	19,0	20,9
Чудо-вишня	67	15,5	8,4	19,5	29,4
Шарада	59,5	20,8	13,7	18,8	23,3
№ 2516	56,4	30,2	16,3	21,2	24,9
Черешня / Sweet cherry					
Россошанская крупная (контроль)	57,6	12,9	13,4	18,6	22,5
Александрия	72	13,7	7,1	11,1	13,1
Амулет	64	16	7,5	9,8	13,0
Крупноплодная	62,5	12,4	4,4	7,7	10,5
Эйфория	63	11,9	13,0	18,4	23,2
Фатеж	58,7	3,1	10,4	16,3	20,9
Ярославна	44,2	20,1	20,5	26,9	32,3
Красавица Киева	61,7	17,7	7,9	12,4	14,2
Леся	54,4	15,9	13,0	18,7	23,7

У растений, находящихся под длительным воздействием водного дефицита, падает интенсивность ростовых процессов, фотосинтеза и распределения ассимилянтов, что приводит к снижению продуктивности. При изучении исследуемых сортов и форм сливы, черешни и вишни, водный дефицит в листьях варьировал в пределах от 6,3 до 27,4 % у сливы (таблица 1) и от 3,1 до 30,2 % у вишни и черешни (таблица 2). Низкие показатели дефицита воды отмечены у трех сортов и форм сливы домашней и одного сорта сливы диплоидной: Осенний сувенир – 6,3 %, №1726 – 11,4 %, Кубанская ранняя – 13,6 % и Анжелина – 15,9 % (таблица 1). Среди черешни и вишни наименьший дефицит воды отмечен у сортов черешни Фатеж – 3,1 % и Эйфория – 11,9 % (таблица 2). Следует отметить, что количество воды в листовом аппарате не оказывает влияния на водный дефицит. Во всех культурах наблюдается как низкий водный дефицит и при высокой, и при низкой оводненности листьев, так и высокий водный дефицит, независимо от содержания воды в листьях. Также не прослеживается прямой зависимости количественных потерь воды листьями от ее содержания в листовом аппарате (таблицы 1, 2).

Водоудерживающая способность растительных тканей является одним из факторов, определяющих стойкость к обезвоживанию, о котором судят по потере воды в листьях при подсушивании их в течение определенного промежутка времени. К засухоустойчивым растениям относят те, которые в процессе онтогенеза способны адаптироваться к действию

обезвоживания и осуществлять нормальный рост и развитие. Установлено, что листья более устойчивых к засухе растений отдают в процессе завядания меньше воды, чем листья менее устойчивых [11]. В результате наших исследований водоудерживающей способности листьев у пяти образцов сливы домашней (Осенний сувенир, Венгерка кавказская, Андреевская, Богатырская, №1788) и двух образцов сливы диплоидной (Сарматка, Ранняя) была отмечена медленная отдача воды листьями в процессе завядания: через 2 часа потери влаги – от 6,1 до 10,4 %, через 4 часа потери влаги – от 10,8 до 14,6 %, через 6 часов – от 13,5 до 17,9 % (таблица 1). Среди черешни и вишни наименьшая водоотдача отмечалась у сортов черешни Александрия, Амулет и Крупноплодная: через 2 часа потери влаги – от 4,4 до 7,5 %, через 4 часа – от 7,7 до 11,1 % и через 6 часов – от 10,5 до 13,1 % (таблица 2).

Изменения в водном режиме листьев, происходящие в процессе завядания, позволяют судить о степени устойчивости различных сортов к обезвоживанию в условиях, сходных с теми, которые имеют место в период засухи в саду. После 4 часов завядания побеги с листьями помещали в сосуды с водой для восстановления тургора на 4 часа [12].

Среди вишни наибольшей восстанавливающей способностью тургора листовой поверхности характеризовался сорт Чудо-Вишня – 97,4% (таблица 3).

Таблица 3 – Восстановление тургора листьев вишни и черешни
(при критических летних температурах 37,2 °C-38,2 °C)

Table 3 – Restoration of turgor of cherry and cherry leaves
(at the critical summer temperature of 37,2 °C-38,2 °C)

Сорта, форма / Cultivar, form	Потеря воды через 4 часа завядания, % / Water loss at 4 hrs.	Восстановление воды после 4 часов насыщения, % / Water recovery after 4 hrs. saturation, %
Вишня обыкновенная/Common cherry		
Любимица (контроль)	10,0	92,7
2516	19,4	85,0
Шарада	11,5	91,6
Чудо-вишня	5,7	97,4*
НСР ₀₅	-	4,6
Черешня/Sweet cherry		
Россошанская крупная (контроль)	10,4	91,7
Амулет	4,9	102,6*
Крупноплодная	6,5	96,2
Леся	9,9	92,7
Александрия	7,0	96,3
Красавица Киева	6,4	95,4
Эйфория	0,1	102,8*
Фатеж	8,5	93,9
Ярославна	15,0	88,3
НСР ₀₅	-	4,8

*Существенные различия с контролем при P=0,95

Среди сортов черешни высокий процент восстанавливающей способности тургора, превышающий контроль, отмечен по всем формам. Существенные отличия от контроля по всем показателям при уровне значимости 0,95 наблюдалось у двух сортов черешни: Амулет и Эйфория, и одного сорта вишни – Чудо-вишня.

С высоким процентом восстанавливающей способности тургора листовой поверхности среди сортов и форм сливы домашней были отмечены: №2158, Синяя птица, №1726, Кубанская ранняя – 100,0 96,8, 96,7, 98,5% соответственно через 4 часа насыщения, что существенно превышало показатели контрольного сорта (таблица 4).

Таблица 4 – Восстановление тургора листьев сливы
(при критических летних температурах 37,2 °C-38,2 °C)

Table 4 – Recovery of turgor of the leaves of plum
(at the critical summer temperature of 37,2 °C-38,2 °C)

Сорта, форма / Cultivar, form	Потеря воды через 4 часа завядания, % / Water loss at 4 hrs.	Восстановление воды после 4 часов насыщения, % / Water recovery after 4 hrs. saturation, %
Слива домашняя/Damsons		
Волгоградская (контроль)	27,4	77,1
№2158	4,7	100,0
Синяя птица	9,0	96,8
№1726	10,5	96,7
Кубанская ранняя	5,8	98,5
Венгерка кавказская	12,8	94,3
Осенний сувенир	11,8	94,4
№1788	7,0	95,9
№1738	14,8	93,1
Ренклюд Зеленый	14,0	89,8
1864	8,7	94,6
Богатырская	5,9	96,3
Венгерка корнеевская	14,1	89,5
Андреевская	5,3	96,2
Татьяна	9,1	96,0
НСР ₀₅	-	4,7
Слива диплоидная/Plum diploid		
Сарматка (контроль)	5,4	100,2
Гек	10,2	90,4
Озарк Премьер	4,5	98,1
Колонновидная	5,3	98,9
Дынная	17,4	89,2
Ранняя	10,9	94,1
Анжелина	7,8	98,2
Блек сплендер	12,1	91,5
Глобус	9,6	95,2
НСР ₀₅	-	4,8

Среди сортов диплоидной сливы превышение показателей контроля по восстанавливающей способности тургора не отмечалось. При этом наибольшую восстанавливающую способность тургора листовой поверхности показали сорта: Озарк Премьер, Колонновидная и Анжелина – 98,1, 98,9, 98,2 % соответственно через 4 часа насыщения.

Наряду с засухоустойчивостью важным фактором в определении общей адаптивной устойчивости растения к абиотическим факторам является жаростойкость. Определение жаростойкости сливы, вишни, черешни, в лабораторных условиях показало, что из всех изучаемых сортов повреждения имелись только на сорте Эйфория. При 60 °C у этого сорта повреждения проявились на 20 % поверхности листа, что свидетельствует о высокой жаростойкости. Остальные сорта показали себя как очень жаростойкие, повреждений листовой поверхности при 60 °C не наблюдалось.

По результатам оценки засухоустойчивости сортов и сортообразцов косточковых культур в условиях культивирования на каштановых почвах выделены экологически пластичные растения. Объединение их в кластеры (однородные группы) базируется

на близости по параметрам водного дефицита, оводненности и водоудерживающей способности листьев (в качестве примера приведен кластерный анализ сливы домашней – рисунок 1). Это дает возможность оценить их перспективность как засухоустойчивых и жаростойких плодовых растений.

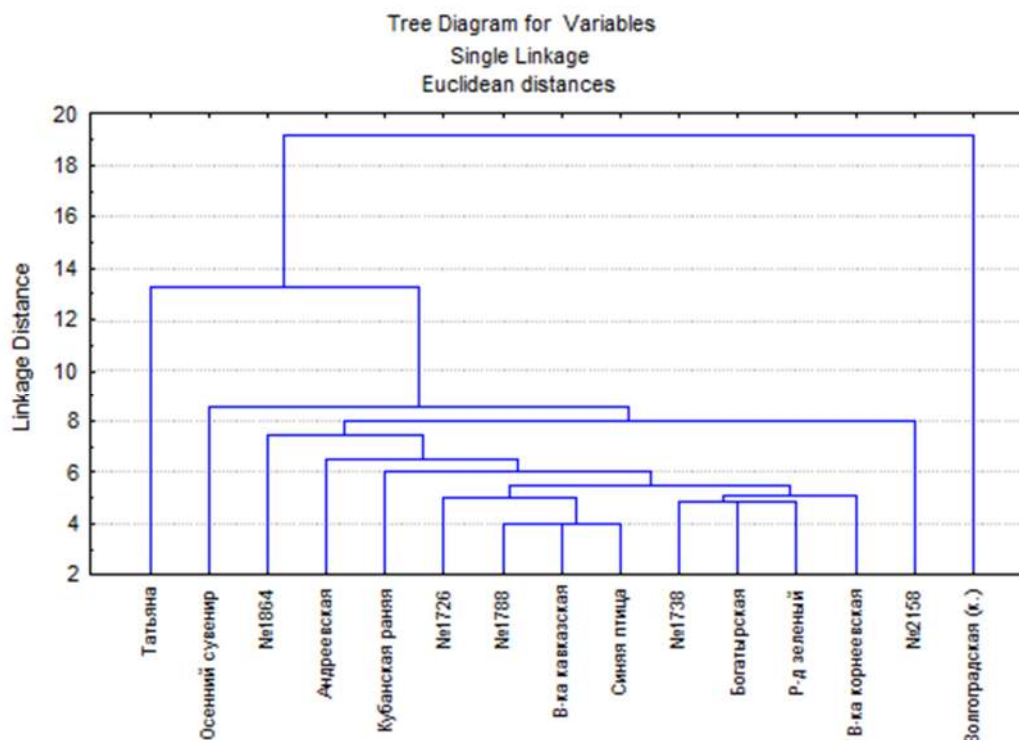


Рисунок 1 – Сходство сортов и сортообразцов сливы домашней по показателям водного дефицита, оводненности и водоудерживающей способности листьев

Figure 1 – Similarity of varieties and varietals of domestic plum in terms of water scarcity hydration and water-holding capacity of leaves

Закключение. Таким образом, в итоге проведенных лабораторных исследований, выявлены наиболее засухоустойчивые и жаростойкие формы сливы, показавшие лучшие результаты в сравнении с контрольными сортами по большинству параметров: Осенний сувенир, Кубанская ранняя, Анжелина. Также по отдельным показателям выделились сорта и формы – №1726, №2158, №1788, Андреевская, Богатырская, Венгерка кавказская, Синяя птица, Ранняя, Колонновидная. Среди сортов черешни и вишни по нескольким параметрам выделились черешни Амулет и Эйфория. По отдельным параметрам лучшие показатели отмечены у сортов черешни Александрия, Крупноплодная и вишни – Чудо-вишня. Выделенные сорта косточковых культур можно использовать как для культивирования в острозасушливых условиях Нижневолжского региона, так и в селекционном процессе для создания новых засухоустойчивых сортов для этой зоны.

Библиографический список

1. Артюх С. Н., Киселева Г. К. Засухоустойчивость сортов яблони мутационной коллекции и выделенные генетические источники и доноры // Субтропическое и декоративное садоводство. 2017. № 61. С. 77-83.
2. Засухоустойчивость генотипов вишни / А. В. Кружков, М. Л. Дубровский, А. С. Лыжин, Р. Е. Кирилов // Плодоводство и ягодоводство России. 2015. Т. XXXXII. С. 232-234.

3. Засухоустойчивость сорта яблони ренет Симиренко на слаборослых подвоях в условиях аридного климата / Е. Н. Иваненко, Т. В. Меншутина, Л. В. Попова, О. С. Суховетченко // Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее образование. 2017. № 3(47). С. 97-104.

4. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации субтропических, южных плодовых и декоративных культур в условиях субтропиков России / А. В. Рындин, О. Г. Белоус, В. И. Маляровская, З. В. Притула, Ю. С. Абиляфова, А. М. Кожевникова // Сельскохозяйственная биология. 2014. №3. С. 40-48.

5. Корнилов Б. Б., Долматов Е. А., Ожерельева З. Е. Результаты изучения засухо- и жароустойчивости декоративных форм семечковых культур (яблоня, груша) генофонда ВНИИСПК // Плодоводство и ягодоводство России. 2015. Т. XXXXI. С. 186-191.

6. Ожерельева З. Е., Богомолова Н. И. Изучение водного режима листьев малины красной в условиях Орловской области [Электронный ресурс] // ВНИИСПК. 2014. №2. Режим доступа: journal.vniispk.ru/pdf/2014/2/26.pdf. (дата обращения: 1.12.2014).

7. Оценка засухоустойчивости летних сортов яблони на различных слаборослых подвоях / А. М. Галашева, З. Е. Ожерельева, Н. Г. Красова, А. Р. Павел // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. XXXXVII. С. 82-86.

8. Оценка засухоустойчивости сортов и форм груши, вишни, черешни и абрикоса / В. В. Чивилев, А. В. Кружков, Р. Е. Кириллов, В. Н. Куликов // Вестник современных исследований. 2019. № 1.2 (28). С. 115-117.

9. Савельева Н. Н. Drought resistance and heat resistance of apple varieties with monogenic scab resistance // European applied sciences: challenges and solutions. - 1st International Scientific Conference. 2015. С. 128-130.

10. Свинцов И. П., Семенютина В. А. Влияние эдафических и климатических факторов на экологическую пластичность растений *Zizyphus jujuba* Mill. // АгроЭкоИнфо. 2018. №3. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_366.doc.

11. Смыков А. В., Федорова О. С., Месяц Н. В. Засухоустойчивость гибридных форм персика селекции Никитского ботанического сада // Труды по прикладной ботанике, генетики и селекции, 2015. Т. 177. № 2. С. 55-62.

12. Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда: монография. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСБВ, 2017. 282 с.

13. Regulations of safe and sustainable use of biodiversity of woody plants in protective afforestation / A. V. Semenyutina, I. P. Svintsov, I. P. Huzhahmetova, V. A. Semenyutina // Journal of Agriculture and Environment. 2018. №3(7). <http://jae.cifra.science/article/view/93> Data accessed: 16 July 2018. <http://dx.doi.org/10.23649/jae.2018.3.7.3>.

14. Semenyutina A. V., Kostyukov S. M. Bioecological justification assortment of shrubs for landscaping urban landscapes // Accent graphics communications. Montreal, QC, Canada, 2013. 164 p.

Reference

1. Artyuh S. N., Kiseleva G. K. Zasuhoostojchivost' sortov yablони mutacionnoj kollekcii i vydelennye geneticheskie istochniki i donory // Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. 2017. № 61. P. 77-83.

2. Zasuhoostojchivost' genotipov vishni / A. V. Kruzhkov, M. L. Dubrovskij, A. S. Lyzhin, R. E. Kirilov // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2015. Т. XXXXII. P. 232-234.

3. Zasuhoostojchivost' sorta yablони renет Simirenko na slaboroslyh podvoyah v usloviyah aridnogo klimata / E. N. Ivanenko, T. V. Menshutina, L. V. Popova, O. S. Suhovetchenko // Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee obrazovanie. 2017. № 3(47). P. 97-104.

4. Ispol'zovanie fiziologo-biohimicheskikh metodov dlya vyyavleniya mehanizmov adaptatsii subtropicheskikh, yuzhnyh plodovyh i dekorativnyh kul'tur v usloviyah subtropikov Rossii / A. V. Ryndin, O. G. Belous, V. I. Malyarovskaya, Z. V. Pritula, Yu. S. Abil'fazova, A. M. Kozhevnikova // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2014. №3. P. 40-48.

5. Kornilov B. B., Dolmatov E. A., Ozherel'eva Z. E. Rezul'taty izucheniya zasuh- i zharoustojchivosti dekorativnyh form semechkovyh kul'tur (yablonya, grusha) genofonda VNIISPK // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2015. T. XXXIII. P. 186-191.
6. Ozherel'eva Z. E., Bogomolova N. I. Izuchenie vodnogo rezhima list'ev maliny krasnoj v usloviyah Orlovskoj oblasti [Elektronnyj resurs] // VNIISPK. 2014. №2. Rezhim dostupa: journal.vniispk.ru/pdf/2014/2/26.pdf. (data obrascheniya: 1.12.2014).
7. Ocenka zasuhoustojchivosti letnih sortov yabloni na razlichnyh slaboroslyh podvoyah / A. M. Galasheva, Z. E. Ozherel'eva, N. G. Krasova, A. R. Pavel // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2016. T. XXXVII. P. 82-86.
8. Ocenka zasuhoustojchivosti sortov i form grushi, vishni, chereschni i abrikosa / V. V. Chivil'ev, A. V. Kruzhkov, R. E. Kirillov, V. N. Kulikov // Vestnik sovremennyh is-sledovanij. 2019. № 1.2 (28). P. 115-117.
9. Savel'eva N. N. Drought resistance and heat resistance of apple varieties with monogenic scab resistance // European applied sciences: challenges and solutions. - 1st International Scientific Conference. 2015. P. 128-130.
10. Svincov I. P., Semenyutina V. A. Vliyanie jedaficheskikh i klimaticheskikh faktorov na jekologicheskuyu plastichnost' rastenij Zizyphus jujuba Mill. // AgrojektoInfo. 2018. №3. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_366.doc
11. Smykov A. V., Fedorova O. S., Mesyac N. V. Zasuhoustojchivost' gibridnyh form persika selekcii Nikitskogo botanicheskogo sada // Trudy po prikladnoj botanike, genetiki i selekcii, 2015. Vol. 177. № 2. P. 55-62.
12. Sovremennye metodologiya, instrumentarij ocenki i otbora selekcionnogo materiala sado- vyh kul'tur i vinograda: monografiya. Krasnodar: FGBNU SKFNCSSV, 2017. 282 p.
13. Regulations of safe and sustainable use of biodiversity of woody plants in protective affor- estation / A. V. Semenyutina, I. P. Svintsov, I. P. Huzhahmetova, V. A. Semenyutina // Journal of Ag- riculture and Environment. 2018. №3(7). [http://jae.cifra.science/article/ view/93](http://jae.cifra.science/article/view/93) Data accessed: 16 July 2018. [http://dx.doi.org/ 10.23649/ jae.2018.3.7.3](http://dx.doi.org/10.23649/jae.2018.3.7.3).
14. Semenyutina A. V., Kostyukov S. M. Bioecological justification assortment of shrubs for landscaping urban landscapes // Accent graphics communications. Montreal, QC, Canada, 2013. 164 p.

Информация об авторах

Солонкин Андрей Валерьевич, руководитель Нижне-Волжского НИИ сельского хозяйства – филиала Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, (РФ, 403013, Волгоградская область, Городищенский район, п. Областной сельскохозяйственной опытной станции, ул. Центральная, 12.), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>, **E-mail:** nwniish@mail.ru

Семенютина Александра Викторовна, руководитель лаборатории биоэкологии Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, (РФ, 400062, г.Волгоград, Университетский проспект, 97.) д. с.-х. н., профессор, **E-mail:** vnialmi@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7345-2740

Никольская Ольга Алексеевна, старший научный сотрудник Нижне-Волжского НИИ сельского хозяйства – филиала Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, (РФ, 403013, Волгоградская область, Городищенский район, п. Областной сельскохозяйственной опытной станции, ул. Центральная, 12.) ORCID: 0000-0002-1337-7101, **E-mail:** nwniish@mail.ru

Киктева Елена Николаевна, младший научный сотрудник Нижне-Волжского НИИ сельского хозяйства – филиала Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, (РФ, 403013, Волгоградская область, Городищенский район, п. Областной сельскохозяйственной опытной станции, ул. Центральная, 12,) ORCID: 0000-0002-3095-2884, **E-mail:** nwniish@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 633.2/.3:631.82(470.76)

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-7

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И СПОСОБОВ ПОСЕВА
НА УРОЖАЙНОСТЬ БОБОВО-МЯТЛИКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**THE INFLUENCE OF MINERAL NUTRITION AND PLANTING METHODS
ON CROP YIELDS OF «LEGUMINOSAE-POACEAE» GRASS MIXTURES IN
THE CONDITIONS OF THE NORTH OF THE ASTRAKHAN REGION**

Н. В. Тютюма, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН
Г. К. Булахтина, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
А. В. Кудряшов, младший научный сотрудник
Н. И. Кудряшова, младший научный сотрудник

N. V. Tyutyuma, G. K. Bulakhtina, A. V. Kudryashov, N. I. Kudryashova

*ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН»,
Астраханская область, Черноярский район, село Солёное Займище*

Federal State Budget Scientific Institution

*«Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»,
Astrakhan region, Chernoyarsk district, the village of Solyonoye Zaimishche*

Дата поступления в редакцию 13.08.2019

Дата принятия к печати 15.10.2019

Received 13.08.2019

Submitted 15.10.2019

На базе Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН заложен многолетний опыт по разработке различных агроприемов возделывания нетрадиционных для Северного Прикаспия травосмесей, направленных на рациональное использование природных ресурсов с учетом охраны окружающей среды. Цель исследования – получить новые знания по изучению влияния различных уровней минерального питания и способов посева на продуктивность кормовых травосмесей на орошаемых землях Астраханской области. Направление исследований является актуальным и имеет большое практическое значение, так как позволяет увеличить ассортимент возделываемых в Астраханской области кормовых травосмесей для предложения фермерам региона. По результатам двух лет исследований можно сделать следующие выводы: продуктивность всех изучаемых травосмесей при разбросном способе посева существенно выше, чем при раздельно-рядовом посеве; на всех изучаемых способах посева у всех образцов травосмесей урожайность повышается пропорционально увеличению доз вносимых удобрений; в 2018 году, на травах 3-го года жизни, урожайность зеленой массы на всех вариантах опыта была значительно ниже, чем в 2017 году; абсолютными лидерами по продуктивности зеленой массы при разбросном способе посева оказались в 2017 году травосмеси №2 и №3 на вариантах с применением разбросного способа посева с дозой внесения удобрений $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 210,9 и 231,2 т/га; соответственно в 2018 году самые высокие значения урожайности также были отмечены на этих же самых травосмесях, но составили уже 125,1 и 126,7 т/га соответственно; максимальная урожайность при раздельно-рядовом способе посева была отмечена у травосмесей №1 и №3 на вариантах с внесением $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 166,0 и 170,6 т/га, соответственно, в 2017 году и 110,7 и 115,4 т/га, соответственно, в 2018 году.

On the basis of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, many years of experience have been built on the development of various agricultural methods for cultivating grass mixtures that are non-traditional for the Northern Caspian and aimed at the rational use of natural resources taking into account environmental protection. The purpose of the study is to obtain new knowledge on the influence of various levels of mineral nutrition and methods of sowing on the productivity of fodder grass mixtures on the irrigated lands of the Astrakhan region. The direction of research is relevant and of great practical importance, as it allows you to increase the assortment of fodder mixtures cultivated in the Astrakhan region to offer farmers in the region. To determine the yield on the experimental plots in 2017, 4 mowing was carried out, in 2018 - 5 mowing. Based on the results of two years of research, the following

conclusions can be drawn: the productivity of all the studied grass mixtures with the spread method of sowing is significantly higher than with separate-row sowing; on all studied methods of sowing, all samples of grass mixtures yield increases in proportion to the increase in doses of fertilizers; in 2018, on grasses of the 3rd year of life, the yield of green mass in all variants of the experiment was significantly lower than in 2017; the absolute leaders in green mass productivity in the spread method of sowing were in 2017 grass mixtures No. 2 and No. 3 in the variants using the spread method of sowing with the fertilizer dose $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 210,9 and 231,2 t / ha, respectively, in 2018 the most high yields were also noted on the same grass mixtures, but already amounted to 125,1 and 126,7 t / ha, respectively; the maximum yield with a separate-row method of sowing was noted for mixtures No. 1 and No. 3 in the variants with the introduction of $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 166,0 and 170,6 t / ha, respectively, in 2017 and 110,7 and 115,4 t / ha, respectively, in 2018.

Ключевые слова: бобово-мятликовые травосмеси, продуктивность травосмесей, способы посева травосмесей, уровни минерального питания, клевер луговой, овсяница луговая, козлятник восточный.

Key words: «Leguminosae-Poaceae» grass mixture, productivity, planting methods, level of mineral nutrition, meadow clover, meadow fescue, eastern goatskin.

Цитирование. Тютюма Н. В., Булахтина Г. К., Кудряшов А. В., Кудряшова Н. И. Влияние минерального питания и способов посева на урожайность бобово-мятликовых травосмесей в условиях севера Астраханской области. *Известия НВ АУК*. 2019 4(56). 65-71. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-7.

Citation. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Kudryashov A. V., Kudryashova N. I. The influence of mineral nutrition and planting methods on crop yields of «Leguminosae-Poaceae» grass mixtures in the conditions of the north of the Astrakhan region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 65-71 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-7.

Введение. В современном мире растениеводство должно быть ориентировано на высокоэффективные адаптивные и ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Аграрии должны максимально использовать научную информацию и агроклиматические ресурсы окружающей среды [7].

Учеными было установлено, что в искусственно созданных агрофитоценозах, состоящих из многолетних бобово-мятликовых травосмесей, аккумулируется от 2,0 до 3,5% ФАР, формируются урожаи зеленой массы на уровне 70... 100 т/га, в почве накапливается от 10 до 15 т/га органики, значительно улучшаются водно-физические свойства почвы, что обеспечивает получение экологически безопасных кормов [2, 3, 12, 14].

По мнению многих исследователей, основным условием для устойчивого развития кормопроизводства является полевое травосеяние. В общем количестве производимых в Российской Федерации кормов сеяные однолетние и многолетние травы занимают около 50 % всего объема [8, 9, 10]. Многочисленные исследования, проведенные в различных эколого-географических зонах, показывают, что смешанные посевы многолетних бобовых и мятликовых трав обладают более высокой урожайностью и кормовой ценностью, чем одновидовые [4, 11, 13].

Бобово-мятликовые травосмеси способствуют быстрому восстановлению структуры почвы, повышают количество в агрегатном составе агрономически ценных частиц, защищают почву от водной и ветровой эрозии [1, 5, 6].

Для того чтобы получать растительную массу равномерно в течение сезона, необходимо решить проблему отавности. Чаще всего эту проблему помогают решить минеральные удобрения. Совместное применение удобрений и орошения не только увеличивает отавность трав, но и значительно увеличивает их урожайность [2, 3, 7].

В связи с этим кормопроизводство должно быть направлено на получение кормов с высокой питательной ценностью. Большую роль в этом призваны сыграть посевы многолетних травосмесей, рационально использующие естественную энергию, атмосферные осадки, водные и сырьевые ресурсы, почвенное плодородие.

Научная новизна НИР заключается в том, что впервые в почвенно-климатических условиях Северного Прикаспия проведена оценка продуктивности различных многолетних кормовых травосмесей при разном способе посева и разном уровне минерального питания, в результате чего будут выделены наиболее перспективные образцы.

Направление исследований является актуальным и имеет большое практическое значение, так как позволяет расширить ассортимент возделываемых в Астраханской области смесей бобовых и мятликовых трав для предложения сельхозпроизводителям региона.

Цель исследования – получить новые знания по изучению влияния различных уровней минерального питания на продуктивность кормовых травосмесей на орошаемых землях Астраханской области.

Материалы и методы. Экспериментальная часть исследований проводилась в сухостепной зоне Правобережья северной части Астраханской области. Почва опытного участка характеризуется как светло-каштановая слабосолонцеватая среднесуглинистая. Содержание гумуса низкое 1,0-1,5 %, азота – 36,5 мг/кг, подвижного фосфора – 45,8 мг/кг, подвижного калия – 46,2 мг/кг, реакция почвенной среды слабощелочная – 7,7. Климат района исследований резко континентальный, острозасушливый, изменчивый. Обилие тепла позволяет выращивать в этом районе многолетние травы, но из-за малого количества осадков позволяет получать высокие урожаи только на орошении.

Система обработки почвы опытного участка включала в себя осеннюю вспашку (осень 2015 года) на глубину 22-24 см, весеннее боронование (2016 год), культивацию с боронованием, фрезерование для выравнивания участка.

Сев трав был проведен вручную 13.04.2016 г. Полные всходы зафиксированы через 4-5 дней. Дальнейшее развитие растений проходило при проведении комплекса агротехнических мероприятий, связанных с уходом за растениями: поливов, подкормок, обработок от вредителей и болезней. В 2017 году фенологические наблюдения и учет урожайности проводилось на многолетних травосмесях 2-го года жизни, в 2018 – на многолетних травосмесях 3-го года жизни.

Трехфакторный полевой опыт закладывался методом расщепленных делянок.

Фактор А – различные по составу травосмеси;

Фактор В – различные способы посева;

Фактор С – различный уровень минерального питания.

По фактору А были составлены следующие травосмеси:

- № 1: Овсяница луговая; Клевер «Фаленский»; Тимофеевка «Ленинградская – 214»; Люцерна посевная местная (по каталогу ВИР № 52094). Соотношение – 25 : 25 : 25 : 25 (2 зл.+2 боб.);

- № 2: Тимофеевка «Ленинградская – 214»; Клевер «Дымковский»; Райграс «Гулф»; Овсяница «Славянка». Соотношение – 25 : 25 : 25 : 25 (1 боб.+3 мятл.);

- № 3: Овсяница «Славянка»; Клевер «Ветеран»; Райграс «Агат»; Козлятник восточный «Кривич». Соотношение – 25 : 25 : 25 : 25 (2 мятл.+2 боб.);

- № 4: Клевер «Ветеран»; Тимофеевка луговая ВИК-911; Райграс «Агат»; Бекмания «Нарымская». Соотношение – 25 : 25 : 25 : 25 (1 боб.+3 мятл.) .

По фактору В был произведен посев каждой травосмеси отдельно-рядовым и разбросным способом.

По фактору С производилась подкормка травосмесей после каждого укоса по схеме (удобрение – азофоска (N₁₉P₁₉K₁₉)):

1. Контроль (б/у),
2. N₁₇₁P₁₇₁K₁₇₁(после каждого укоса);
3. N₃₄₂P₃₄₂K₃₄₂(после каждого укоса).

Заданный режим орошения – поддержание предполивного порога влажности почвы на уровне 75% НВ. Повторность опыта – трехкратная. Нормы высева трав в смесях: клевер луговой 5 кг/га, люцерна посевная 7 кг/га, овсяница луговая 6 кг/га, тимopheевка луговая 2 кг/га, райграс пастбищный 4 кг/га, козлятник восточный 6 кг/га, бекмания обыкновенная 3 кг/га.

Результаты и обсуждение. Для определения урожайности на опытных делянках в 2017 году было проведено 4 укоса, в 2018 – 5 укосов. После каждого укоса проводились подкормки по схеме опыта. В таблице 1 представлены данные по урожайности зеленой массы в 2017 и 2018 гг.

Таблица 1 – Урожайность зеленой массы травосмесей по вариантам опыта, т/га, 2017-2018 гг., ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»

Table 1 – Yield of the green mass of grass mixtures according to the experimental options, t/ha, 2017-2018, FSBI PAFSC RAS

Травосмесь / Grass mixture	Способ посева / Sowing Method	Уровень мине- рального питания / Level of mineral nutrition	Урожайность зеленой массы, т/га / Green mass productivity, t / ha			
			2017	Прибавка к кон- тролю, т/га / The increase to the control, t / ha	2018	Прибавка к контролю, т/га / The increase to the control, t / ha
Травосмесь 1	Раздельно- рядовой	Контроль (б/у)	125,0	-	94,5	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	151,5	26,5	105,6	11,1
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	166,0	41,0	110,7	16,2
	Разбросной	Контроль (б/у)	163,5	-	102,3	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	166,0	2,5	115,7	13,4
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	195,5	32,0	117,0	14,7
Травосмесь 2	Раздельно- рядовой	Контроль (б/у)	74,0	-	57,1	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	87,5	13,5	58,0	0,9
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	111,0	37,0	70,8	13,7
	Разбросной	Контроль (б/у)	165,9	-	106,0	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	179,9	14,0	117,5	11,5
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	210,9	45,0	125,1	19,1
Травосмесь 3	Раздельно- рядовой	Контроль (б/у)	91,7	-	92,4	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	96,6	4,9	111,3	18,9
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	170,6	78,9	115,4	23,0
	Разбросной	Контроль (б/у)	128,7	-	101,4	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	135,2	6,5	122,4	21,0
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	231,2	102,5	126,7	25,3
Травосмесь 4	Раздельно- рядовой	Контроль (б/у)	91,8	-	52,8	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	104,3	12,5	85,4	32,6
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	128,3	36,5	86,0	33,2
	Разбросной	Контроль (б/у)	115,4	-	90,3	-
		N ₁₇₁ P ₁₇₁ K ₁₇₁	133,4	18,0	99,0	8,7
		N ₃₄₂ P ₃₄₂ K ₃₄₂	149,4	34,0	110,1	19,8
НСР _{(05)общ.}	-	-	2,5	-	2,8	-
НСР _{(05)А}	-	-	2,1	-	2,9	-
НСР _{(05)В}	-	-	2,2	-	2,7	-
НСР _{(05)С}	-	-	2,4	-	2,5	-
НСР _{(05)АВС}	-	-	2,5	-	2,7	-

Анализ полученных результатов показывает, что продуктивность всех травосмесей значительно возрастает при внесении дополнительных доз удобрений. При этом разбросной способ посева оказался более урожайным по сравнению с отдельно-рядовым. Можно предположить, что при разбросном способе посева уменьшается влияние пространственного размещения компонентов на межвидовую конкуренцию и поэтому продуктивность травосмесей выше на 30-40 т/га, чем при отдельно-рядовом способе. Условия для развития бобовых трав, и особенно их корневой системы, оказались более благоприятными, в результате чего за счет увеличения количества бобовых трав увеличилась и урожайность зеленой массы.

На участках опыта с разбросным способом посева урожайность зеленой массы была выше, чем при использовании отдельно-рядового способа, в среднем на 48,1 т/га в 2017 году и на 24,4 т/га в 2018 году.

Подкормки минеральными удобрениями оказали положительное влияние на урожайность изучаемых травосмесей. Так, в 2017 году прибавка к контролю на вариантах с дозой внесения удобрений $N_{171}P_{171}K_{171}$ в среднем составила 12,3 т/га, а на варианте с дозой $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 50,9 т/га. В 2018 году этот показатель составил 14,8 т/га при применении $N_{171}P_{171}K_{171}$ и 20,6 т/га при внесении $N_{342}P_{342}K_{342}$.

Максимальные значения урожайности были отмечены в 2017 году у травосмесей №2 и №3 на варианте с применением разбросного способа посева с дозой внесения удобрений $N_{342}P_{342}K_{342}$ и составили 210,9 и 231,2 т/га, соответственно. В 2018 году самые высокие значения урожайности также были отмечены на этих же самых травосмесях, но составили уже 125,1 и 126,7 т/га, соответственно. В 2018 году на травах 3-го года жизни урожайность зеленой массы на всех вариантах опыта была значительно ниже, чем в 2017 году.

Абсолютными лидерами по продуктивности зеленой массы на вариантах опыта с применением отдельно-рядового способа посева оказались травосмеси №1 и №3 на вариантах с внесением $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 166,0 и 170,6 т/га, соответственно, в 2017 году и 110,7 и 115,4 т/га, соответственно, в 2018 году.

Минимальные значения урожайности были отмечены на контрольных вариантах при использовании отдельно-рядового способа посева: в 2017 году у травосмеси №2 – 74,0 т/га; в 2018 году у травосмеси №4 – 52,8 т/га.

Заключение. По результатам двух лет исследований можно сделать следующие выводы:

1. Продуктивность всех изучаемых травосмесей при разбросном способе посева существенно выше, чем при отдельно-рядовом посеве.

2. На всех изучаемых способах посева у всех образцов травосмесей урожайность повышается пропорционально увеличению доз вносимых удобрений.

3. В 2018 году на травах 3-го года жизни урожайность зеленой массы на всех вариантах опыта была значительно ниже, чем в 2017 году.

4. Абсолютными лидерами по продуктивности зеленой массы при разбросном способе посева оказались в 2017 году травосмеси №2 и №3 на вариантах с применением разбросного способа посева с дозой внесения удобрений $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 210,9 и 231,2 т/га, соответственно. В 2018 году самые высокие значения урожайности также были отмечены на этих же самых травосмесях, но составили уже 125,1 и 126,7 т/га, соответственно.

5. Максимальная урожайность при отдельно-рядовом способе посева была отмечена у травосмесей №1 и №3 на вариантах с внесением $N_{342}P_{342}K_{342}$ – 166,0 и 170,6 т/га, соответственно, в 2017 году и 110,7 и 115,4 т/га, соответственно, в 2018 году.

Все изученные травосмеси показали довольно высокую продуктивность. А так как возделывание данных растений актуально для животноводческой отрасли региона, то исследования по разработке технологических приемов их возделывания в дальнейшем будут продолжены.

Библиографический список

1. Бобылев В. С. Факторы, влияющие на подбор компонентов травосмеси многолетних трав // Вестник Курской ГСХА. 2012. №9. С. 41-42.
2. Влияние последствий борофоски на формирование урожая люцерно-мятликовых травосмесей в условиях серых лесных почв Центрального региона / В. В. Дьяченко, О. В. Дьяченко, В. А. Меркелова, Н. И. Козловская, С. С. Седова // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. №1(59). С. 13-19.
3. Дьяченко В. В., Зубарева А. В., Каранкевич Т. Н. Формирование урожая бобово-злаковых травосмесей первого и второго года жизни в агроклиматических условиях Брянской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 6. С. 53-56.
4. Иванов В. М., Устименко А. Н. Трехкомпонентные многолетние травосмеси на склоновых светло-каштановых почвах и их влияние на образование гумуса // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2014. №3(35). С. 50-55.
5. Зарьянова З. А., Кирюхин С. В., Осин А. А. Экологическая оценка различных видов и сортов многолетних трав в условиях Орловской области // Земледелие. 2016. №4. С. 39-41.
6. Крамаренко В. М. Динамика продуктивности многолетних бобово-мятликовых травосмесей при разной интенсивности внедрения в агрофитоценоз вегетативно-подвижного мятликового компонента // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (126). С. 58-61.
7. Косолапов В. М., Трофимов И. А., Трофимов Л. С. Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании (теория и практика). М.: Россельхозакадемия, 2014. 135 с.
8. Магомедов К. Г., Бербекова Н. В. Многолетние травы в растениеводстве республики // Аграрный вестник Урала. 2012. № 8 (100). С. 13-14.
9. Организация системы ведения лугового хозяйства на основе комбинированного использования травостоев / С. А. Бельченко, В. Е. Ториков, А. В. Дронов, И. Н. Белоус, К. Ю. Бычкова // Вестник Брянской ГСХА. 2015. №5. С. 8-14.
10. Тойгильдин А. Л., Солнцева О. В., Тойгильдина И. А. Модели смешанных посевов многолетних трав для условий лесостепи Поволжья // Вестник Ульяновской ГСХА. 2015. №4 (32). С. 52-57.
11. Gemini: a grassland model simulating the role of plant traits for community dynamics and ecosystem functioning. Parameterization and evaluation / J.-F. Soussana, V. Maire, N. Gross, B. Bachelet, L. Pages, R. Martin, D. Hill, C. Wirth // Ecological Modeling. 2012. Vol. 231. P. 134-145.
12. Humphrey L. D., Pyke D. A. Demographic and growth responses of a guerrilla and a phalanx perennial grass in competitive mixtures // Journal of Ecology. 2013. Vol. 86. № 5. P. 854-865.
13. Mitchley J., Jongepierova I., Fajmon K. Regional seed mixtures for the recreation of species-rich meadows in the White Carpathian Mountains: results of a 10-yr experiment // Applied Vegetation Science. 2012. Vol. 15 (2). P. 253-263.
14. Modeling soil-root water transport and competition for single and mixed crops/ F. Lafolie, L. Bruckler, H. Ozier-Lafontaine, R. Tournebize, A. Mollier // Plant and Soil. 2012. Vol. 210, № 1. P. 127-143.

Reference

1. Bobylev V. S. Faktory, vliyayuschie na podbor komponentov travosmesi mnogoletnih trav // Vestnik Kurskoj GSXA. 2012. №9. P. 41-42.
2. Vliyanie posledejstviya borofoski na formirovanie urozhaya lyucerno-myatlikovyh travosmesej v usloviyah seryh lesnyh pochv Central'nogo regiona / V. V. D'yachenko, O. V. D'yachenko, V. A. Merkelova, N. I. Kozlovskaya, S. S. Sedova // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'sko-hozyajstvennoj akademii. 2017. №1(59). P. 13-19.

3. D'yachenko V. V., Zubareva A. V., Karankevich T. N. Formirovanie urozhaya bobovo-zlakovykh travosmesej pervogo i vtorogo goda zhizni v agroklimaticheskikh usloviyakh Bryanskoj oblasti // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2014. № 6. P. 53-56.
4. Ivanov V. M., Ustimenko A. N. Trehkomponentnye mnogoletnie travosmesi na sklonovykh svetlo-kashtanovykh pochvah i ih vliyanie na obrazovanie gumusa // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie. 2014. №3(35). P. 50-55.
5. Zar'yanova Z. A., Kiryuhin S. V., Osin A. A. Jekologicheskaya ocenka razlichnykh vidov i sortov mnogoletnih trav v usloviyakh Orlovskoj oblasti // Zemledelie. 2016. №4. P. 39-41.
6. Kramarenko V. M. Dinamika produktivnosti mnogoletnih bobovo-myatlikovykh travosmesej pri raznoj intensivnosti vnedreniya v agrofitocenoze vegetativno-podvizhnogo myatlikovogo komponenta // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 4 (126). P. 58-61.
7. Kosolapov V. M., Trofimov I. A., Trofimov L. S. Kormoproizvodstvo v sel'skom hozyajstve, jekologii i racional'nom prirodopol'zovanii (teoriya i praktika). M.: Rossel'hozakademiya, 2014. 135 p.
8. Magomedov K. G., Berbekova N. V. mnogoletnie travy v rastenievodstve respubliky // Agrarnyj vestnik Urala. 2012. № 8 (100). P. 13-14.
9. Organizaciya sistemy vedeniya lugovogo hozyajstva na osnove kombinirovannogo ispol'zovaniya travostoev / S. A. Bel'chenko, V. E. Torikov, A. V. Dronov, I. N. Belous, K. Yu. Bychkova // Vestnik Bryanskoj GSXA. 2015. №5. P. 8-14.
10. Tojgil'din A. L., Solnceva O. V., Tojgil'dina I. A. Modeli smeshannykh posevov mnogoletnih trav dlya uslovij lesostepi Povolzh'ya // Vestnik Ul'yanovskoj GSXA. 2015. №4 (32). P. 52-57.
11. Gemini: a grassland model simulating the role of plant traits for community dynamics and ecosystem functioning. Parameterization and evaluation / J.-F. Soussana, V. Maire, N. Gross, B. Bachelet, L. Pages, R. Martin, D. Hill, C. Wirth // Ecological Modeling. 2012. Vol. 231. P. 134-145.
12. Humphrey L. D., Pyke D. A. Demographic and growth responses of a guerrilla and a phalanx perennial grass in competitive mixtures // Journal of Ecology. 2013. Vol. 86. № 5. P. 854-865.
13. Mitchley J., Jongepierova I., Fajmon K. Regional seed mixtures for the recreation of species-rich meadows in the White Carpathian Mountains: results of a 10-yr experiment // Applied Vegetation Science. 2012. Vol. 15 (2). P. 253-263.
14. Modeling soil-root water transport and competition for single and mixed crops/ F. Lafolie, L. Bruckler, H. Ozier-Lafontaine, R. Tournebize, A. Mollier // Plant and Soil. 2012. Vol. 210, № 1. P. 127-143.

Информация об авторах

Тютюма Наталья Владимировна, профессор РАН, врио директора ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», (РФ, 416251, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, кв. Северный, 8), доктор сельскохозяйственных наук
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6582-2628pniiiaz@mail.ru>

Булахтина Галина Константиновна, зав. отделом рационального природопользования ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», (РФ, 416251, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, кв. Северный, 8), кандидат сельскохозяйственных наук
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8949-8666gbulaht@mail.ru>

Кудряшов Александр Владимирович, зав. лабораторией лугопастбищных, аридных и пойменных экосистем отдела рационального природопользования ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», (РФ, 416251, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, кв. Северный, 8)
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0914-6239stone75@list.ru>

Кудряшова Наталья Ивановна – младший научный сотрудник отдела рационального природопользования ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН», (РФ, 416251, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, кв. Северный, 8)
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0195-3869_stone79.79@list.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

О МЕТОДОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

ON THE METHODOLOGY FOR THE FORMING AGROTECHNOLOGICAL POLICY AT THE CURRENT STAGE

К. Н. Кулик, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

А. М. Беляков, доктор сельскохозяйственных наук

М. В. Назарова, младший научный сотрудник

K. N. Kulik, A. M. Belyakov, M. V. Nazarova

*Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного
лесоразведения РАН, г. Волгоград, Россия*

*Federal Research Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective
Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd*

Дата поступления в редакцию 28.08. 2019
Received 28.08.2019

Дата принятия к печати 15.10.2019
Submitted 15.10.2019

Рассматриваются исторические и методические подходы к формированию аграрной политики в России. Дается оценка достигнутых производственно-экономических и экологических результатов в земледелии, состояния отрасли на данный момент. Приводится и анализируется современная нормативно-правовая и законодательная база, обеспечивающая создание основ ориентированного на инновации развития аграрного производства России. Обозначаются назревшие проблемы, такие как дисбаланс структур агроэкосистем и деградация агроландшафтов, прогнозируется позитивный тренд их развития в агросфере. В статье констатируется, что проявление экстремально опасных явлений в агросфере усугубляется экстенсивностью производства, игнорированием интеллектуальных достижений отечественного земледелия, нигилизмом в агрохимии и неприятием роли мелиорации со стороны землепользователей. Обосновываются современные принципы и направления решения обострившихся экологических и социально-экономических проблем в сельском хозяйстве РФ. Прогнозируется необходимость усиления методологического и информационного обеспечения производства регламентосоответствующей продукции, повышения стабильности агроэкосистем, рационального природопользования в современном техногенезе.

The article discusses the historical and methodological approaches to the formation of agrarian policy in Russia. An assessment is made of the achieved production, economic, and environmental results in agriculture, and the current state of the industry. The current regulatory and legislative framework is provided and analyzed, which ensures the creation of foundations, focused on innovation, development of agricultural production in Russia. Maturing problems are identified, such as an imbalance in the structures of agroecosystems and degradation of agrolandscapes, and a positive trend in their development in the agricultural sphere is predicted. The article states that the manifestation of extremely dangerous phenomena in the agricultural sector is compounded by the intensity of production, ignoring the intellectual achievements of domestic agriculture, nihilism in agricultural chemistry, and the rejection of the role of land reclamation by land users. Substantiates modern principles and directions of solutions, aggravated environmental and socioeconomic problems in agriculture of the Russian Federation. It is forecasted that there will be a need to strengthen methodological and information support for the production of regulatory-relevant products, increase the stability of agroecosystems, and rational nature management in modern technogenesis.

Ключевые слова: системы земледелия, агротехнологии, агроландшафты, климат, почвы, природные ресурсы, деградация почв, адаптация, мелиорация, технологическая модернизация, агротехнологическая политика.

Key words: farming system, agricultural technology, agrolandscapes, climate, soils, natural resources, degradation, adaptation, land reclamation, technological modernization, agro-technology policy.

Цитирование. Кулик К. Н., Беляков А. М., Назарова М. В. О методологии формирования агротехнологической политики на современном этапе. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 72-78. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-8.

Citation. Kulik K. N., Belyakov A. M., Nazarova M. V. On the methodology for the forming agrotechnological policy at the current stage. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 72-78 (in Russian) DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-8.

Введение. Проблемы продовольственного, энергетического и сырьевого обеспечения в РФ долгое время решались путем трансформативной стратегии землепользования. Сокращалась площадь лесных и кормовых угодий, интенсивно распахивались земли, соответственно расширялись площади нарушенных, заболоченных и затопленных территорий. Таким образом, индустриализация земледелия и животноводства, выросшие объемы применения химических веществ привели к засолению и загрязнению почв и вод, деградации пастбищ, ускорению темпов дегумификации почв, обеднению разнообразия биоценозов, потере баланса природных экосистем, аридизации, опустыниванию значительных областей и, как следствие, к экологическому коллапсу в агросфере [8].

Ужесточение континентальности климата, расширение аридных территорий обуславливают процессы дисбаланса структур агроэкосистем и деградации агроландшафтов [12].

На протяжении истории земледелие приспосабливается к совокупности природных факторов, и безусловно, прежде всего, к климатическим условиям. В России с ее бескрайними просторами и диспозицией в северных широтах дифференцированность подхода в агротехнологиях различных климатических зон имеет большое значение. В прошлом столетии долгое время существовали зональные системы земледелия на основе почвенно-климатического районирования территории. В ландшафтном земледелии последних лет, в территориальной дифференциации стали учитывать тепло- и влагопотребность культур в зависимости от гидрологических, гидрогеологических и других условий [4, 7].

Материалы и методы. Важнейшими нормативными и методологическими документами, содержащими новые подходы к созданию региональных земледельческих систем, имеющими преемственность и адаптивность к ранее существовавшим системам, высокоинтенсивным агротехнологиям и внутрихозяйственным проектам землеустройства, являются руководство «Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий» (2005) и доклад Россельхозакадемии «О развитии агротехнологий и формировании государственной технологической политики в сельском хозяйстве» (2005).

Следует отметить, что сегодня нормативно-законодательная база и методологические наработки создают основы приоритетно-инновационного развития сельскохозяйственного производства России. В частности, на 2013-2018 гг. разработана и принята Госпрограмма, которая включает: развитие отраслей и предприятий, функционально обеспечивающих жизнедеятельность населения, оптимизацию земельных отношений, формирование госзаказа на основе адаптивно-ландшафтного земледелия и агротехнологий нового поколения. Назрела необходимость обновления «Федерального регистра агротехнологий», создания системы агроэкологической оценки агроландшафтов, проектирования на современном уровне ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Увеличение площадей с интенсивными агротехнологиями должно сопровождаться ростом применения минеральных удобрений на уровне 4,5-5,0 млн т д.в. И здесь государственная приоритетная поддержка товаропроизводителей, несомненно, имеет решающее значение («Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий», 2005, «Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года», 2009) [8, 15].

Результаты и обсуждение. Вполне очевидно, что задачей аграрной науки является реакция на вызовы, предвидение последствий и выстраивание системы мероприятий научного обеспечения отрасли.

Природа вызовов (при условном разделении) может носить экологический и социально-экономический характер. При выстраивании рациональных систем ведения земледелия следует учитывать весь спектр влияния факторов, сил, места и времени воздействия. Схемы и порядок землепользования, существовавшие ранее, необходимо корректировать не только с учетом состояния агроландшафтов, способа ведения хозяйственной деятельности, но и в зависимости от последствий трансформации климата. В связи с этим установление и, соответственно, оценка рисков, адаптационных мероприятий – предмет серьезного межведомственного научного обсуждения [2, 14].

Сегодня можно констатировать, что частота проявлений экстремально опасных явлений в агросфере осложняется нерациональностью агропроизводства, игнорированием интеллектуальных достижений отечественного земледелия, отрицанием агрохимических методов, неприятием мер по оптимизации почвенных, гидрологических и агроклиматических условий со стороны землепользователей и чиновников.

Следует отметить также, что финансово-экономические потрясения (внутренние и общемировые) оказывают негативное влияние на инфраструктуру, институциональное, нормативно-правовое поле, как это было в 2008-2012 гг. [2, 7].

Вышеперечисленные вызовы способствовали формированию перечня наиважнейших научных направлений в земледелии, который получил название «Теоретические основы технологической модернизации, системы адаптивно-ландшафтного земледелия, проектирования агротехнологий для воспроизводства плодородия, предотвращения деградации почв и увеличения производства сельскохозяйственной продукции», и был разработан и обоснован в работах А.Н. Каштанова, 1994, В.И. Кирюшина, 1993, В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова, 2005, И.А. Трофимова, 2016, 2017. Он включает ряд основных направлений:

- теоретические основы формирования агротехнологий различной степени интенсификации и агротехнологической модернизации земледелия России;
- методология мониторинга земель сельскохозяйственного использования; обоснование мероприятий по сохранению и восстановлению почвенного плодородия, консервации земель сельскохозяйственного назначения, выбывших из оборота; теоретические основы разумного использования почвенных ресурсов России;
- системы комплексного применения органоминеральных удобрений, мелиорантов, регуляторов роста растений и биопрепаратов; эффективные меры регулирования окупаемости затрат и формирования внутреннего рынка минеральных удобрений.
- стратегия и тактика регулирования процесса выращивания сельскохозяйственных культур; методы прогнозирования агроэкологических рисков и способы адаптации земледелия к изменениям климата;
- эффективные методы, технологии использования микроорганизмов в ресурсосберегающих технологиях производства сельскохозяйственной продукции;
- научные основы, системы и технологии ведения агропромышленного производства в современных условиях расширяющегося техногенеза [2, 6, 7].

Для формирования основ современной агротехнологической политики земледелия нашей страны на высоком информационно-технологическом уровне необходимо развить теорию создания устойчивых к внешним воздействиям агроландшафтов, систему оценки их ресурсного потенциала, сбалансированности, установить предельно

допустимые значения антропогенной нагрузки, разработать агротехнические требования к новым машинам с целью обновления и поддержки банка данных федерального и региональных регистров машин и агротехнологий [1, 3, 5, 7, 9, 10].

Однако существует опасность подмены реальной технологической модернизации земледелия «сберегающим земледелием», «сберегающими технологиями», за которыми скрывается стремление к упрощению, зачастую доходящее до профанации. Все это маскируется под «ресурсосбережение» – базовый термин науки в теории и практике земледелия.

Площадь пашни продолжает сокращаться. Не компенсируется вынос основных элементов питания органоминеральными удобрениями, биологическим азотом. Происходит разрушение экологического каркаса почвы за счет «выжимания» потенциально и труднодоступных форм органических соединений.

Дефляционные процессы почв, их опустынивание (на площади более 50 млн. га) гидроморфизм черноземов, образно говоря, опасно приближаются к «точке невозврата». На локальных массивах Средне-Русской равнины сейчас затруднительно найти «исконные» черноземы. Почвообразовательный процесс идет в сторону местного гидроморфизма [2, 7, 10, 11].

В настоящее время особое значение придается научным исследованиям, направленным на совершенствование теоретических основ оценки состояния, использования ресурсов плодородия и развитие системы мониторинга почв России. Требуется развития методология пространственной оценки потенциала почвенных ресурсов.

В итоге в числе прочих должны быть созданы региональные системы и программы восстановления почвенного плодородия, сохранения, возврата в оборот выбывших из активного производства сельскохозяйственных земель (Каштанов А.И. и др., 1994).

«Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» предусмотрено формирование внутрирыночного потребления (порядка 3-5 млн. тонн) минеральных удобрений. К 2020 году внесение промышленных форм удобрений (в д. в.) должно возрасти до 130-150 кг/га. Поэтому, несомненно, агрохимические исследования в значительной степени будут ориентированы на комплексное использование удобрений, мелиорантов, почвенных биопрепаратов и регуляторов роста растений в агротехнологиях. Отсюда следует, что необходимы новая идеология, стимулы формирования в России рынка минеральных удобрений. Для этого необходимо развивать исследования по усовершенствованию теории, методов стабилизации, адаптации в агропромышленной сфере производства и прогнозированию агроклиматических рисков в земледелии.

В последние годы получили развитие компьютерные технологии (дистанционные методы зондирования в сочетании с традиционными методами измерения) для автоматизации управления процессом получения сельхозпродукции в адаптивно-ландшафтных системах земледелия.

В аграрном производстве наблюдаются тенденции совершенствования биологических методов обеспечения защиты и питания растений. Бесспорно, в этом направлении главенствующую роль играет использование препаратов, содержащих симбиотические микроорганизмы: азотфиксаторы, защитные эндофитные, ризосферные бактерии и арбускулярную микоризу. На сегодняшний день технологии эффективного использования микроорганизмов чрезвычайно востребованы [13].

В скором времени на основе знания филогенетической и функциональной структуры метагенома станет возможным создание ассоциаций почвенных микроорганизмов и появятся методы управления ими в агроландшафтах.

Негативное антропогенное воздействие на агросферу приняло такие формы, что существует угроза национальной безопасности, в связи с чем необходимо разрабатывать методологии, информационно-методическое обеспечение и технологические приемы повышения устойчивости агроэкосистем, оптимизации агроландшафтов и производства регламентосоответствующей продукции. [1, 3].

Особо о мелиоративной науке. В недавнем прошлом этот этап большого пути был несправедливо забыт, в результате чего в период реформ был утрачен огромный хозяйственный и научный потенциал. Этот путь, совершенно очевидно, предстоит пройти заново.

Решение вопросов, связанных с повышением плодородия почв и сохранением каркаса агроценозов, должно стать приоритетной задачей мелиорации сельскохозяйственных земель. Это подтверждается Концепцией федеральной целевой программы, программой «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель в России на период до 2020 года», «Водной стратегией агропромышленного комплекса России на период до 2020 года», «Стратегией развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года», национальной лесной политикой России и др. Это, бесспорно, весьма весомый и достойный вклад ученых в науку и практику [3, 5, 6].

Агролесомелиоративное обустройство сельхозугодий является обязательным элементом мелиоративного строительства, но, к сожалению, его объем в перестроечный период был сокращен со 180 до 12-15 тысяч га в год.

Заключение. Для возрождения агролесомелиорации в России необходимо предусматривать мероприятия по защитному лесоразведению как обязательному компоненту общегосударственных природоохранных программ. «Это лесомелиорация земель в эрозионно-опасных и в районах интенсивного проявления деградации и опустынивания сельскохозяйственных угодий, а также повсеместно при создании систем государственных защитных лесных полос, облесении гидрографической сети, крутых и горных склонов, крупных песчаных массивов, лесных полос вдоль федеральных трасс» [8].

Работы по защитному лесоразведению – это создание агролесокомплексов, способных стабилизировать деградированные ландшафты и повысить их продуктивность, вкупе с другими мелиорациями (агротехническими, гидротехническими и др.).

К важнейшим задачам агролесомелиорации следует отнести:

- аэрокосмический и картографический мониторинг состояния и прогнозирование формирования агролесоландшафтов в условиях возрастающей антропогенной нагрузки и аридизации регионального климата;
- совершенствование способов создания защитных лесных насаждений, ухода за ними;
- разработка лесомелиоративных методов управления эрозионно-гидрологическим режимом водосборных бассейнов;
- формирование экологически устойчивых агролесоландшафтов на основе объективной оценки лесопригодности земель, использования и сохранения биоразнообразия, методов генетики, селекции, интродукции и научного семеноводства, новых способов и форм ведения лесного хозяйства в защитных лесных насаждениях;
- развитие теории защитного лесоразведения, разработка технологий и средств восстановления и адаптивного лесоаграрного освоения потенциала опустыненных земель;
- поиск и выстраивание экономического механизма повышения заинтересованности землепользователей в создании защитных лесных насаждений.

Несомненно, без существенной поддержки государства и его федеральных органов, ответственных за проведение научно-технической политики, не обойтись.

Таким образом, в очередной раз ставится задача технологической модернизации агропромышленного комплекса России.

Библиографический список

1. Беляков А. М. Методы исследования и оценка состояния агроландшафтов сухостепной зоны Волгоградской области // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология». 2018. Т. 4(70). №3. С. 102-108.
2. Жученко А. А. Стратегия адаптивной интенсификации растениеводства: концептуальные положения, приоритеты и критерии // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2012. №12. С. 1-6.
3. Кирюшин В. И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. 2018. №3. С. 3-12.
4. Кирюшин В. И. Научные предпосылки оптимизации использования земельных ресурсов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. №4. С. 7-10.
5. Кирюшин В. И. Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. 2015. №80. С. 16-25.
6. Методологические аспекты формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов, М.Н. Масютенко и др. // Земледелие. 2016. №7. С. 6-9.
7. Система оценки экологической сбалансированности агроландшафта и степени соответствия используемой в нем системы земледелия/ А. В. Гостев, И. Г. Пыхтин, Л. Б. Плотников, А. И. Пыхтин // Земледелие. 2017. №8. С. 3-6.
8. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года / К.Н Кулик [и др.]. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 2018. 36 с.
9. Сухой П. А., Морозов А. В., Атаманюк М. Н. Экологическая оценка агроландшафтных систем на региональном уровне // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Том 1. №3 (3) С. 6-16.
10. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Развитие системного подхода к изучению сельскохозяйственных земель и управлению агроландшафтов // Поволжский экологический журнал. 2016. №4. С. 455-466.
11. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Сохранение и оптимизация агроландшафтов Центрального Черноземья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2017. №1. С. 103-109.
12. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems / M.A. Altieri, I.C. Nicholls, A. Henao, M.A. Lana // Agronomy for Sustainable Development. 2015. Vol. 35. Iss. 3. P. 869-890.
13. Caron P., Biénabe E., Hainzelin E. Making transition towards ecological intensification of agriculture a reality: the gaps in and the role of scientific knowledge // Current Opinion in Environmental Sustainability. 2014. Vol. 8. P. 44-52.
14. European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: a review / B.T. van Zanten and other // Agronomy for Sustainable Development. 2014. Vol. 34. Iss. 2. P. 309-325.
15. Malezieux E. Designing cropping systems from nature // Agronomy for Sustainable Development. 2012. Vol. 32. P. 15-29.

Reference

1. Belyakov A. M. Metody issledovaniya i ocenka sostoyaniya agrolandshaftov suhostepnoj zony Volgogradskoj oblasti // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya". 2018. T. 4(70). №3. P. 102-108.

2. Zhuchenko A. A. Strategiya adaptivnoj intensifikacii rastenievodstva: konceptual'nye polozheniya, priority i kriterii // *Jekonomika sel'skohozyajstvennyh i pererabatyvayuschih predpriyatij*. 2012. №12. P. 1-6.
3. Kiryushin V. I. Zadachi nauchno-innovacionnogo obespecheniya zemledeliya Rossii // *Zemledelie*. 2018. №3. P. 3-12.
4. Kiryushin V. I. Nauchnye predposylki optimizacii ispol'zovaniya zemel'nyh resursov // *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2019. №4. P. 7-10.
5. Kiryushin V. I. Razvitie predstavlenij o funkciyah landshaftov v svyazi s zadachami optimizacii prirodoopol'zovaniya // *Byulleten' pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. 2015. №80. P. 16-25.
6. Metodologicheskie aspekty formirovaniya jkologicheskij sbalansirovannyh agrolandshaftov / N. P. Masyutenko, A. V. Kuznecov, M. N. Masyutenko i dr. // *Zemledelie*. 2016. №7. P. 6-9.
7. Sistema ocenki jkologicheskij sbalansirovannosti agrolandshafta i stepeni sootvetstviya ispol'zuej v nem sistemy zemledeliya/ A. V. Gostev, I. G. Pyhtin, L. B. Plotnikov, A. I. Pyhtin // *Zemledelie*. 2017. №8. P. 3-6.
8. Strategiya razvitiya zaschitnogo lesorazvedeniya v Rossijskoj Federacii na period do 2025 goda / K. N. Kulik [i dr.]. Volgograd: FNC agrojekologii RAN. 2018. 36 p.
9. Suhoj P. A., Morozov A. V., Atamanyuk M. N. Jekologicheskaya ocenka agroland-shaftnyh sistem na regional'nom urovne // *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. jkologiya i prirodoopol'zovanie*. 2015. Vol. 1. №3 (3) P. 6-16.
10. Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Razvitie sistemnogo podhoda k izucheniju sel'skohozyajstvennyh zemel' i upravleniju agrolandshdaftov // *Povolzhskij jekologicheskij zhurnal*. 2016. №4. P. 455-466.
11. Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Sohranenie i optimizaciya agroland-shaftov Central'nogo Chernozem'ya // *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2017. №1. P. 103-109.
12. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems / M.A. Altieri, I.C. Nicholls, A. Henao, M.A. Lana // *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35. Iss. 3. P. 869-890.
13. Caron P., Biénabe E., Hainzelin E. Making transition towards ecological intensification of agriculture a reality: the gaps in and the role of scientific knowledge // *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014. Vol. 8. P. 44-52.
14. European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: a review / B.T. van Zanten and other // *Agronomy for Sustainable Development*. 2014. Vol. 34. Iss. 2. P. 309-325.
15. Malezieux E. Designing cropping systems from nature // *Agronomy for Sustainable Development*. 2012. Vol. 32. P. 15-29.

Информация об авторах

Кулик Константин Николаевич, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов и адаптивного природопользования ФНИЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7124-8116>, **E-mail:** kulikkn@yandex.ru

Беляков Александр Михайлович, главный научный сотрудник лаборатории исследования агролесоландшафтов и адаптивных систем земледелия ФНИЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9541-8383>, **E-mail:** dokbam49@mail.ru

Назарова Марина Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории исследования агролесоландшафтов и адаптивных систем земледелия ФНИЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7933-3152>, **E-mail:** mn1967@list.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 633.1:577.17

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-9

СПЕЦИФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ АЛЬФА-АМИЛАЗЫ И РАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ И ПШЕНИЦЫ

SPECIFIC DEFINITIONS OF ALPHA-AMYLASE AND SOLUBLE PROTEINS ACTIVITY IN BARLEY AND WHEAT GRAIN

А. А. Желтова^{1,3}, кандидат медицинских наук

В. Г. Зайцев^{1,2}, кандидат биологических наук

Р. Ю. Иващенко¹, младший научный сотрудник

Д. А. Агапова¹, младший научный сотрудник

A.A. Zheltova^{1,3}, **V.G. Zaitsev**^{1,2}, **R.Yu. Ivashchenko**¹, **D.A. Agapova**¹

¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград

² Волгоградский государственный университет

³ Волгоградский государственный медицинский университет

¹ Federal State Budget Scientific Institution

«Federal Research Centre of Agroecology, Amelioration and Protective Afforestation
of Russian Academy of Sciences», Volgograd

² Volgograd State University

³ Volgograd State Medical University

Дата поступления в редакцию 28.10. 2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received 28.10.2019

Submitted 20.12.2019

Точное определение биохимических маркеров требует их специфического анализа независимо от природы исходного образца. У зерновых активность альфа-амилазы требуется определять в присутствии функционально сходной бета-амилазы. Классические методы на основе гидролиза крахмала, использовавшиеся ранее, не дают такой возможности. Мы продемонстрировали возможность использования недорогих и доступных наборов, разработанных для клинической химии, в определении активности альфа-амилазы и содержания растворимых белков в зернах ячменя и пшеницы. Анализ активности альфа-амилазы и содержания крахмала и растворимых белков у трех сортов пшеницы (Камышанка 3, Камышанка 5, Зинаида) и трех сортов ячменя (Медикум 139, Камышинский 23, Ратник) показал, что альфа-амилаза является наиболее вариabельным из исследованных показателей. Все изученные сорта, кроме Ратника, обладали очень близким содержанием растворимых белков, только у сорта Ратник их содержание было примерно в три раза выше, чем у остальных сортов. Среди сортов ярового ячменя существенно более высокая активность альфа-амилазы была выявлена у сорта Камышинский 23, что делает его перспективным для целей дальнейшей селекции сортов с высокоактивной амилазой, подходящих для получения солода.

Accurate determination of biochemical markers requires their specific analysis, regardless of the nature of the original sample. In cereals, alpha-amylase activity is required to be determined in the presence of functionally similar beta-amylase. The classical methods based on starch hydrolysis, used earlier, do not give such an opportunity. We have demonstrated the possibility of using inexpensive and affordable kits developed for clinical chemistry in determining the activity of alpha-amylase and the content of soluble proteins in barley and wheat grains. Analysis of alpha-amylase activity and starch and soluble protein content in three varieties of wheat (Kamyshanka 3, Kamyshanka 5, Zinaida) and three varieties of barley (Medicum 139, Kamyshinsky 23, Ratnik) showed that alpha-amylase is the most variable of the studied parameters. All studied varieties, except for Ratnik, had a very similar content of soluble proteins, only in the variety Ratnik their content was approximately three times higher than in the other varieties. Among the varieties of spring barley, a significantly higher alpha-amylase activity was detected in the variety Kamyshinsky 23, which makes it promising for the further selection of varieties with highly active amylase suitable for obtaining malt.

Ключевые слова: ячмень, пшеница, альфа-амилаза, белок, методы анализа.

Key words: barley, wheat, alpha-amylase, protein, analysis methods.

Цитирование. Желтова А. А., Зайцев В. Г., Иващенко Р. Ю., Агапова Д. А. Специфическое определение активности альфа-амилазы и растворимых белков в зерне ячменя и пшеницы.

Известия НВ АУК. 2019. 4(56). 79-84. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-9.

Citation. Zheltova A. A., Zaitsev V. G., Ivashchenko R. Yu., Agapova D. A. Specific difinitions of alpha-amilase and soluble proteins activity in barley and wheat grain. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 79-84 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-9.

Введение. Биохимический состав зерна имеет большое значение для сельскохозяйственной и пищевой промышленности. Важным ферментативным компонентом зерновых культур является альфа-амилаза. У пшеницы активность альфа-амилазы в зерне является одним из ключевых факторов, определяющих качество муки и хлебных изделий [1, 7, 10, 12, 13]. В случае ячменя активность альфа-амилазы может быть связана с качеством солода, получаемого для пивоварения, изготовления кваса и других напитков [2, 6]. Однако классический метод определения амилалитической активности, который до сих пор широко применяется в отечественных исследованиях, основан на измерении количества негидролизованного крахмала в виде комплекса с йодом. Альфа-амилаза не является единственным амилалитическим ферментом зерновых, в зерне также присутствуют бета-амилаза и олиго-1,6-глюкозидаза (limit dextrinase). Йодокрахмальный метод не позволяет надежно дифференцировать активность трех указанных ферментов, для этого требуется использовать хромогенные субстраты, специфичные только для альфа-амилазы [9]. В то же время значение разных амилаз неодинаково. Так, важный качественный признак пшеничной муки (число падения) коррелирует с активностью альфа-, но не бета-амилазы [1, 7]. А для используемого в пивоварении ячменя высокая активность бета-амилазы снижает экстрактивность солода [2, 5].

Специфичное определение альфа-амилазы возможно только при использовании субстратов, не расщепляющихся другими ферментами. В настоящий момент в Российской Федерации отсутствуют доступные отечественные готовые наборы реактивов для определения альфа-амилазы, а импортные наборы имеют высокую стоимость и мало используется. В то же время в РФ в клинической химии широко используются готовые наборы для определения альфа-амилазы в биологических образцах животного происхождения со специфическим субстратом для альфа-амилазы (этилиден-G7- α -PNP или EPS), таким же, что и в импортных наборах для сельскохозяйственного использования.

Другим важным биохимическим компонентом являются водорастворимые белки альбумины, экстрагируемые из зерна водой или растворами с низкой ионной силой. Более высокое содержание альбуминов в пшеничной муке способствует получению хлебобулочных изделий с более высокими товарными и вкусовыми свойствами [3]. А у пивоваренного ячменя более высокое содержание альбуминов вызывает образование стабильной пивной пены и улучшает вкусовые качества солодовых напитков [12].

Цель настоящей работы – адаптировать имеющиеся готовые наборы для специфического определения альфа-амилазы и протеинов разработанные под клиническую химию.

Материалы и методы. В качестве образцов зерновых культур было взято 3 сорта пшеницы (пшеница мягкая озимая Камышанка 3 и 5, яровая мягкая пшеница Зинаида) и 3 сорта ярового ячменя (Медикум 139, Ратник, Камышинский 23) 2018 года урожая, полученных из Нижне-Волжского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФНЦ агроэкологии РАН.

Пробоподготовка. Измельчение зерна проводили с использованием лабораторной технологической мельницы циклонного типа ЛМТ-1 (Россия), мельница оснащена ситом-решеткой с диаметром отверстий 0,8 мм. Экстракты из муки получали следующим образом: к навеске муки 187,5 мг добавляли 0,9 мл 50ММ натрий-фосфатного буфера (pH8,0),

после чего инкубировали в термостате (BioSanCH-100, Латвия) при температуре 30°C в течение 30 минут, встряхивая содержимое каждые 5 минут на мультивортксе (BioSanV-32, Латвия) в течение 5 секунд. Затем центрифугировали образцы при 3000 об/мин в течение 5 минут. Далее все показатели определяли в надосадочной жидкости.

Активность альфы-амилазы определяли с помощью готового набора для клинической химии «Альфа-АМИЛАЗА-ОЛЬВЕКС» (Россия), объем рабочего реагента 1000 мкл, а объем анализируемого образца составил 80 мкл, далее все измерения проводили согласно прилагаемой инструкции к набору. Фракцию водорастворимых белков альбуминов определяли количественно методом с пирогаллоловым красным, а также с помощью готового клинического набора «Общий Белок-3-Ольвекс» (Россия) согласно инструкции.

Крахмал в полученных экстрактах определяли по модифицированной методике, основанной на взаимодействии крахмала с йода в растворе йодида калия [11]. Измерение оптической плотности растворов проводили с использованием спектрофотометра (SmartSpecPlus, BIO-RAD, США).

Измерения были проведены в 10 образцах каждого сорта. Результаты аналитических измерений представлены в виде среднего арифметического $\pm$ стандартное отклонение.

Результаты. Активность амилазы среди изученных сортов ячменя имеет большую вариабельность, чем у сортов пшеницы. Среди образцов ячменя наиболее высокая активность альфы-амилазы была обнаружена у сорта Камышинский 23, а наименьшая – у сорта Медикум 139. У пшеницы два сорта (пшеница мягкая озимая Камышанка 3, яровая мягкая пшеница Зинаида) показали близкую активность альфы-амилазы, а сорт пшеницы мягкая озимая Камышанка 5 имел более низкую активность этого фермента (таблицы 1-2).

Содержание растворимых белков было сходным у всех изученных сортов, кроме ярового ячменя Ратник, который содержал примерно в 3 раза больше альбуминов, чем остальные образцы (таблица 1). Поскольку альфа-амилаза является водорастворимым белком растений, важным параметром является отношение активности альфа-амилазы к количеству растворимых белков. У пшеницы это соотношение варьировало от 26,8 до 35,5, а у ячменя от 11,9 до 48,4 (таблица 2). Интересно отметить, что среди сортов ячменя у Камышинского 23 соотношение альфа-амилаза/растворимый белок было примерно в 4 раза выше у сортов Медикум 139 и Ратник.

Таблица 1 – Активность альфа-амилазы и содержания крахмала и растворимых белков в зерне ячменя в пересчете на сухую массу

Table 1 – Activity of alpha-amylase and content of starch and water-soluble proteins in barley grains of the dry weight

Показатель/Сорт Indicator/Variety	Медикум 139 / Medicum 139	Камышинский 23/ Kamyshinskij 23	Ратник / Ratnik
Альфа-амилаза, Ед/мг муки / Alpha-amylase, U/mg flour	0,0684 $\pm$ 0,0177	0,2488 $\pm$ 0,0017	0,1724 $\pm$ 0,0141
Растворимые белки, мг/мг муки / Soluble proteins, mg/mg flour	0,0045 $\pm$ 0,0001	0,0051 $\pm$ 0,0002	0,0145 $\pm$ 0,0001
Крахмал, мг/мг муки / Starch, mg/mg flour	0,0154 $\pm$ 0,0007	0,0166 $\pm$ 0,0003	0,0134 $\pm$ 0,0019
Альфа-амилаза/ растворимые белки / Alpha-amylase/ soluble proteins	15,2442 $\pm$ 3,9171	48,4046 $\pm$ 1,9666	11,9256 $\pm$ 0,8868

Таблица 2 – Активность альфа-амилазы и содержания крахмала
и растворимых белков в зерне пшеницы в пересчете на сухую массу

Table 2 – Activity of alpha-amylase and content of starch and water-soluble proteins
in wheat grains of the dry weight

Показатель/Сорт / Indicator/Variety	Камышанка 5 / Kamyshanka 5	Камышанка 3 / Kamyshanka 3	Зинаида / Zinaida
Альфа-амилаза, Ед/мг муки / Alpha-amylase, U/mg flour	0,1262±0,0017	0,1822±0,0084	0,1750±0,0084
Растворимые белки, мг/мг муки / Soluble proteins, mg/mg flour	0,0047±0,0001	0,0051±0,0001	0,0051±0,0002
Крахмал, мг/мг муки / Starch, mg/mg flour	0,0219±0,0017	0,0236±0,0014	0,0218±0,0002
Альфа-амилаза/ растворимые белки / Alpha-amylase/ soluble proteins	26,8175±0,3268	35,4893±0,9758	34,3164±3,1401

Содержание крахмала в изученных сортах пшеницы и ячменя отличалось незначительно для каждой из культур: 0,0218-0,0236 мг крахмала/мг муки для пшеницы и 0,0134-0,0166 мг крахмала/мг муки для ячменя. Таким образом, в зерне изученных сортов пшеницы и ячменя активность альфа-амилазы является гораздо более вариabельным показателем, чем содержание крахмала и водорастворимых белков.

Обсуждение. Полученные нами результаты показали, что готовые наборы реактивов, предназначенные для определения альфа-амилазы и белка в клинических образцах, после незначительной адаптации могут быть использованы для определения данных аналитов в образцах зерна. Было проведено сравнение полученных нами величин активности альфа-амилазы ячменя с данными крупного исследования по биологической вариabельности альфа-амилазы у 343 сортов ячменя различного географического происхождения [4]. С учетом коэффициента пересчета единиц измерения активность альфа-амилазы всех трех изученных сортов ячменя российской селекции ($0,0684 \pm 0,0177$, $0,1724 \pm 0,0141$, $0,2488 \pm 0,0017$ Ед/мг) не выходила за пределы биологической вариabельности, установленной в указанной работе ($0,0329$ - $0,4600$ Ед/мг). Сорта Медикум 139 и Ратник при сравнении с сортами селекции разных стран мира попадают в самую многочисленную группу сортов с умеренной активностью альфа-амилазы ($0,061$ - $0,200$ Ед/мг). В то же время Камышинский 23 можно отнести к относительно малочисленной группе сортов с высокой активностью альфа-амилазы в покоем зерне выше $0,241$ Ед/мг. Обнаруженный факт позволяет рассматривать Камышинский 23 в качестве перспективного для использования в дальнейшей селекции сортов ячменя с высокой амилазной активностью, в том числе для получения солода, поскольку высокая активность альфа-амилазы связана с хорошим качеством солода для его последующего использования в пивоварении [2, 5, 8, 12]. Специфичное определение альфа-амилазы также имеет существенное значение и для пшеницы, поскольку определенный оптимальный уровень активности этого фермента связан с качеством хлебопекарной муки [3].

Заключение. Проведенное исследование продемонстрировало возможность использования относительно недорогих наборов реагентов, применяемых в клинической химии для определения альфа-амилазы и растворимого белка в зерне. Была выявлена высокая активность альфа-амилазы в зерне ярового ячменя сорта Камышинский 23, что делает его перспективным для целей дальнейшей селекции.

Благодарность. Авторы выражают признательность доктору сельскохозяйственных наук, директору Нижне-Волжского НИИ сельского хозяйства – филиала ФНЦ агроэкологии РАН Андрею Валерьевичу Солонкину за предоставленные для исследования образцы ячменя и пшеницы и доктору биологических наук, заведующему кафедрой биоинженерии и биоинформатики Волгоградского государственного университета Маргарите Викторовне Постновой за возможность проведения части экспериментов в лабораториях кафедры.

Библиографический список / Reference

1. Alpha-amylase activity in wheat flour and breadmaking properties in relation to different climatic conditions / S. M. Rakita, A. M. Torbica, L. P. Dokić, J. M. Tomić, M. M. Pojić, M. S. Hadnadev, T. R. Hadnadev-Dapčević // Food Feed Res. 2015. Vol. 42, № 2. P. 91-99.
2. Bera S., Sabikhi L., Kumar Singh A. Assessment of malting characteristics of different Indian barley cultivars // J. Food Sci. Technol. 2018. Vol. 55, № 2. P. 704-711.
3. Biochemical Quality Indicators and Enzymatic Activity of Wheat Flour from the Aspect of Climatic Conditions / J. Tomić, A. Torbica, M. Belović, L. Popović, N. Knežević // J. Food Quality. 2018. Vol. 2018. P. 5187841.
4. Detection of QTLs controlling alpha-amylase activity in a diversity panel of 343 barley accessions / K. Sato, H. Hisano, S. Matsumoto, T.-S. Zhou, M. Kihara // Mol. Breeding. 2018. Vol. 38. P. 14.
5. Genetic analysis of grain and malt quality in an elite barley population / S. T. Cu, T. J. March, S. Stewart, S. Degner, S. Coventry, A. Box, D. Stewart, B. Skadhauge, R. A. Burton, G. B. Fincher, J. Eglinton // Mol. Breeding. 2016. Vol. 36. P. 129.
6. Gomaa A. M. Application of Enzymes in Brewing // J. Nutr. Food Sci. Forecast. 2018. Vol. 1, № 1. P. 1002.
7. Investigation into the use of the amylase SD assay of milled wheat extracts as a predictor of baked bread quality / D. Mangan, A. Szafranska, V. McKie, B. V. McCleary // J. Cereal Sci. 2016. Vol. 70. P. 240-246.
8. Mahalingam R. Phenotypic, physiological and malt quality analyses of US barley varieties subjected to short periods of heat and drought stress // J. Cereal Sci. 2017. Vol. 76. P. 199-205.
9. Polyphenol oxidase, alpha-amylase and beta-amylase activities of Triticum monococcum, Triticum turgidum and Triticum aestivum: A two-year study / A. Hidalgo, M. Brusco, L. Plizzari, A. Brandolini // J. Cereal Sci. 2013. Vol. 58, № 1. P. 51-58.
10. Relationships between Falling Number, α -Amylase Activity, Milling, Cookie and Sponge Cake Quality of Soft White Wheat / A. M. Kiszonas, D. A. Engle, L. A. Pierantoni, C. F. Morris // Cereal Chem. 2018. Vol. 95, № 3. P. 373-385.
11. Starch accumulation in rice grains subjected to drought during grain filling stage / V. Prathap, K. Ali, A. Singh, C. Vishwakarma, V. Krishnan, V. Chinnusamy, A. Tyagi // Plant Physiol. Biochem. 2019. Vol. 142. P. 440-451.
12. Steiner E., Gastl M., Becker T. Protein changes during malting and brewing with focus on haze and foam formation: A review // Eur. Food Res. Technol. 2011. Vol. 232, № 2. P. 191-204.
13. Use of alpha-amylase and amyloglucosidase combinations to minimize the bread quality problems caused by high levels of damaged starch / G. N. Barrera, C.C. Tadini, A. E. León, P. Ribotta // J. Food Sci. Technol. 2016. Vol. 53, № 10. P. 3675-3684.

Информация об авторах

Желтова Анастасия Александровна, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (РФ, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), доцент кафедры иммунологии и аллергологии Волгоградского государственного медицинского университета (РФ, 400131, г. Волгоград, площадь Павших Борцов, 1), кандидат медицинских наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8078-6407>, тел.+79023886439,

E-mail: ZheltovaA@yandex.ru, zheltova-a@vfanc.ru

Зайцев Валерий Геннадьевич, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (РФ, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский,

97), доцент кафедры биоинженерии и биоинформатики, Волгоградского государственного университета (РФ, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 100), кандидат биологических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9191-2862>, тел. +79033745989,

E-mail: valeryzaitsev@gmail.com, zaitsev@vfanc.ru

Иващенко Регина Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (РФ, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), тел. +79608830480, **E-mail:** ivachenko-ru@vfanc.ru

Агапова Дарья Александровна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (РФ, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), тел. +79093840765, **E-mail:** kurkina-d@vfanc.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 630*266:631.6.02:33

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-10

ИНДЕКСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В ЛЕСОСТЕПИ

INDICES OF EFFICIENCY OF ANTI-EROSION FOREST MELIORATION IN FOREST-STEPPE

Е. А. Корнеева, кандидат сельскохозяйственных наук

E. A. Korneeva

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград

¹*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forestation
of Russian Academy of Sciences, Volgograd*

Дата поступления в редакцию 16.08.2019
Received 16.08.2019

Дата принятия к печати 02.12.2019
Submitted 02.12.2019

В мире экологические проблемы сельского хозяйства уже продолжительное время решаются средствами лесной мелиорации. Высокий интерес международных научных сообществ к этому своеобразному земледельческому средству объясняется имеющимся у него значительным потенциалом для улучшения окружающей среды и существования сельских территорий. Власти ведущих экономик стимулируют фермеров к принятию лесомелиорации в качестве ресурсосберегающей альтернативы традиционному природопользованию. Деградирующие в результате водной эрозии склоновые пахотные земли в лесостепной зоне нашей страны также нуждаются в обустройстве лесом. Однако несовершенство методов экономической оценки мероприятий затрудняет их осуществление. Биоэкономическое моделирование регионального размещения стокорегулирующих полевых защитных лесных полос в пределах склонового агроландшафта, в том числе усиленных простейшими гидротехническими сооружениями, является наиболее современным подходом к решению задачи, индексный метод – установлению закономерностей их эффективности. На доминирующем в лесостепи типе выпуклого профиля склона капиталоемкость лесомелиоративных работ зависит от норматива противоэрозионной лесистости пахотных угодий и способа производства культур – при переходе от слабопологой местности к крутым склонам с сильно смытыми землями стоимость мелиорирования их лесом увеличивается в 1,7-2,1 раза, особенно при посадке лесных культур сеянцами. Эффективность этих мероприятий с увеличением крутизны склона также возрастает, но более быстрыми темпами, а наибольший эффект обеспечивают почвозащитная (47-79 %) и сырьевая функции (14-43 %) лесонасаждений. Прогнозные индексные показатели эффективности лесной мелиорации в орографическом аспекте при всех сценариях составляют более 100 % и подтверждают целесообразность ее осуществления в эрозионноопасных ландшафтах даже на крутых склонах, обосновывают необходимость увеличения государственных и частных инвестиций в эту сферу хозяйственной деятельности.

In the world, environmental problems of agriculture have long been solved by means of the forest melioration. The high interest of the international scientific community in this unique agricultural tool is due to its significant potential to improve the environment and the existence of rural areas. The authorities of the leading economies are encouraging farmers to adopt forest melioration as a resource-saving alternative to traditional environmental management. Degraded as a result of water erosion slope arable land in the forest-steppe zone of our country is also in need of arrangement of forest. However, the imperfection of methods of economic evaluation of measures makes it difficult to implement them. Bioeconomic modeling for regional placement of runoff-regulating forest shelter belts within the slope of the agricultural landscape, including reinforced simplest hydraulic structures, is the most modern approach to solving the problem, index method – establishment of regularities of their effectiveness. In the dominant forest-steppe type of convex profile of the slope capital intensity of forest reclamation work depends on the standard of anti-erosion forest cover of arable lands and the method of production of crops – in the transition from weak terrain to steep slopes with heavily washed lands, the cost of reclamation of their forest increases by 1,7-2,1 times, especially when planting forest crops by seedlings. The effectiveness of these activities also increases with the steepness of the slope, but at a faster rate, and the greatest effect is provided by soil protection (47-79 %) and raw material functions (14-43 %) of forest plantations. Predictive index indicators of the effectiveness of forest melioration in orographic aspect in all scenarios are more than 100 % and confirm the feasibility of its implementation in erosion- dangerous landscapes, even on steep slopes, justify the need to increase public and private investment in this sphere of economic activity.

Ключевые слова: склоновые земли, эрозия почвы, стокорегулирующие лесные полосы, индексы орографической эффективности, лесостепи, противоэрозионная лесомелиорация.

Key words: slope, soil erosion, runoff-regulating forest belts, cost, socio-economic-environmental effect, indices of orographic effectiveness.

Работа выполнена по теме Государственного задания № 0713-2018-0002.

«Разработать научные основы, новые методы, модели и технологии эффективного лесомелиоративного освоения и многоцелевого использования низкопродуктивных и деградированных земель засушливой зоны РФ» ФНЦ агроэкологии РАН

Цитирование. Корнеева Е. А. Индексы эффективности противоэрозионной лесомелиорации в лесостепи. *Известия НВ АУК.* 2019. 4(56). 84-92. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-10.

Citation. Korneyeva Ye. A. Indices of efficiency of anti-erosion forest melioration in forest-steppe. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 84-92 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-10.

Введение. Современное состояние агросистем лесостепи характеризует их слабую устойчивость и снижающуюся продуктивность полей в результате эрозии почв, особенно водной. Борьба с этим явлением ведется во всех районах макрорегиона, требует незамедлительного проведения дорогостоящих противоэрозионных мероприятий и нуждается в надежных научно обоснованных оценках их эффективности [1].

В комплексе мероприятий особое место занимает лесная мелиорация склоновой пашни – создание систем стокорегулирующих лесных полос, выступающих организующим, компенсирующим и мелиорирующим фактором в почвозащитной системе земледелия. Лесонасаждения влияют на ветровой, температурный и гидрологический режимы земледельческой территории, перераспределяют вещество и энергию аграрного ландшафта, являются неотъемлемой частью рационального природопользования [5, 7].

На национальном и глобальном уровнях лесная мелиорация еще с середины прошлого века является серьезной экологически обоснованной концепцией, интегрирующей лес в сельскохозяйственный ландшафт, диверсифицирующей и поддерживаю-

щей аграрное производство. В развитых странах лесное и сельское хозяйство активно взаимодействуют друг с другом в рамках экологической политики, касающейся землепользования и торговли, имеют важное значение с точки зрения изменения климата и других экологических проблем. Кроме того, лесная мелиорация рассматривается здесь как единственно возможная альтернатива для достижения цели увеличения доли лесного сектора в лесодефицитных районах [8, 11].

В России этот вид мелиорации является не очень популярной региональной практикой, напротив, в последние десятилетия наблюдается повсеместная стагнация лесомелиоративных работ. Не в последнюю очередь это объясняется несовершенством научных оценок его эффективности – затраты на создание лесонасаждений не покрываются приростом продукции растениеводства. Также усугубляют ситуацию ухудшение состояния почвенных ресурсов страны инфляционные процессы, являющиеся основными показателями по экономике. В этой связи требуется развить новые элементы мотивации работ по лесной мелиорации проблемных территорий в сторону оценки природоохранного и ресурсосберегающего значения защитных насаждений, обеспечивающих устойчивость и экологическую безопасность земледелия. Текущие реалии состояния склоновых земель в лесостепной зоне актуализируют эту оценку и в региональном аспекте, но здесь требуется учитывать еще и орографический фактор – крутизну склона агротерритории.

Цель наших исследований – изучение динамики эффективности лесомелиоративных объектов в пределах эрозионноопасного агроландшафта на основании установления индивидуальных экономических индексов ее изменения в орографическом аспекте.

Материалы и методы. Водная эрозия в лесостепной зоне РФ развита почти повсеместно. Этому способствуют соответствующие природно-климатические условия – коэффициент континентальности климата 175-187 (умеренно- и среднеконтинентальный); средняя годовая температура воздуха +4,4-7,7° С; сумма осадков за год 460-600 мм. Зона полувлажная – ГТК (отношение осадков к испаряемости) равняется 0,77-1,16.

В лесостепи значительны площади смытых почв – в основном это серые лесные почвы, выщелоченные и типичные черноземы. Влагообеспеченность этих почв характеризуется достаточным увлажнением при вероятности засух в отдельные годы менее 25 %. Также в макрорегионе имеется достаточное количество эрозионноопасных земель, что требует проведения здесь срочных лесомелиоративных мероприятий для полной реабилитации и защиты этих земель от водной эрозии, экономического обоснования их эффективности.

В исследованиях использовался комплексный междисциплинарный подход к определению эффективности лесной мелиорации на основании методов, принятых в лесном и сельском хозяйстве. Несмотря на общие базовые принципы оценки массивного леса и защитных лесных насаждений, последние, являясь своеобразным земледельческим средством, имеют свои особенности в аппарате экономических расчетов [3].

Работа приближена к мировому уровню исследований, где лесная мелиорация рассматривается в аспекте формирования стимулов для желательных действий власти и бизнеса как средство устойчивости земледелия [2, 10]. Методология исследований базируется на расчетах ее общей экономической стоимости, которая интегрирует оценки следующих лесомелиоративных эффектов (в соответствии с классификацией Millennium Ecosystem Assessment экосистемных услуг): противоэрозионного (почвозащитного), агромелиоративного, лесосырьевого, климатообразующего и социального с выявлением получателей выгод от этих услуг. Сумма всех указанных полезностей в денежном

выражении составляет совокупный экономико-социально-экологический эффект (продукт), получаемый сельским хозяйством в результате проведения лесомелиоративных мероприятий на склоновых пахотных угодьях.

Монетарная оценка базовых экономических показателей приведена к уровню цен 2-го квартала 2017 г. в расчете на 1 га обустроенного лесом поля. Расчет затрат выполнен с использованием сметных нормативов ГЭСН-47-02, эффектов – на основании имеющихся многолетних количественных данных по лесомелиоративному региональному эффекту в пределах склоновых агротерриторий.

Объектами исследований являлись инженерно-биологические модели систем стокорегулирующих лесных полос, обустраивающих эрозионноопасное землепользование общей площадью 200 га (1000x2000 м), построенные на основании действующих проектных документов по их созданию. Необходимость моделирования условных агролесоландшафтов вызвана отсутствием фактического научно обоснованного системного размещения лесных полос на склоновых землях различной крутизны в агрохозяйствах лесостепной зоны. Вступление их в стадию спелых и перестойных насаждений, снижение, а иногда и полное прекращение защитных функций ограничило возможность проведения полевых опытов для получения объективных результатов исследований по орографической эффективности лесонасаждений, а также вывода о целесообразности их создания и перспективе использования в проблемных агроландшафтах. Отметим, что расчеты затрат на создание противоэрозионных комплексов и эффектов от их функционирования выполнены на основе общепринятых данных многолетних исследований наиболее видных (авторитетных) ученых в области защиты почвы от водной эрозии и экономики агролесомелиоративных мероприятий, зафиксированных в литературных и нормативно-технических источниках информации.

Общие закономерности динамики затрат и эффектов от противоэрозионной лесомелиорации в орографическом аспекте получены с помощью использования индексного метода. В качестве базового уровня оценки использовались показатели эффективности лесной мелиорации, достигаемые при облесении пологих склонов крутизной 2,1-3,0° (с преобладающими слабосмытыми почвами). Индексируемыми показателями при этом выступали величины, характеризующие изменение эффективности мероприятий на склонах крутизной 5,1-6,0° (с преобладающими сильносмытыми почвами).

Результаты и обсуждение. Главной целью осуществления лесомелиоративных мероприятий на склоновой пашне является противоэрозионный эффект, который заключается в предотвращении потерь почвы как ресурса агропроизводства в результате их смыва. На величину этого эффекта влияют орографические факторы, центральное место в которых занимает рельеф, а именно тип профиля склона, формирующий вредоносный сток. Установлено [6], что в лесостепной зоне в пределах европейской части РФ первое место по распространенности занимает тип выпуклого профиля, связанный со значительной мощностью рыхлых пород по всему склону (рисунок 1). Этот тип профиля водосборов стоит в центре внимания авторитетных ученых, занимающихся противоэрозионной лесомелиорацией, и к нему относятся главные выводы в отношении закономерностей распределения природных и хозяйственных условий использования агротерритории в районах, подверженных водной эрозии.

Склоны выпуклого профиля характеризуются широким и ровным водораздельным плато, пологой верхней, покатой средней и крутой нижней частями склонов. Главной закономерностью рельефа при данном типе профиля является правильное последовательное нарастание уклонов сверху вниз с обычными для этих условий средними и тяжелыми суглинками, природное плодородие которых снижается в том же направлении.

Наиболее выгодным расположением стокорегулирующих лесных полос на склоне указанного типа является полоса перехода разных частей склона в его более нижние части, так как здесь обычно начинается активный смыв почв. Это тот минимум, который обязателен для реальной стокорегулирующей способности насаждений. На крутых склонах для повышения этой способности устраивают простейшие гидротехнические сооружения.

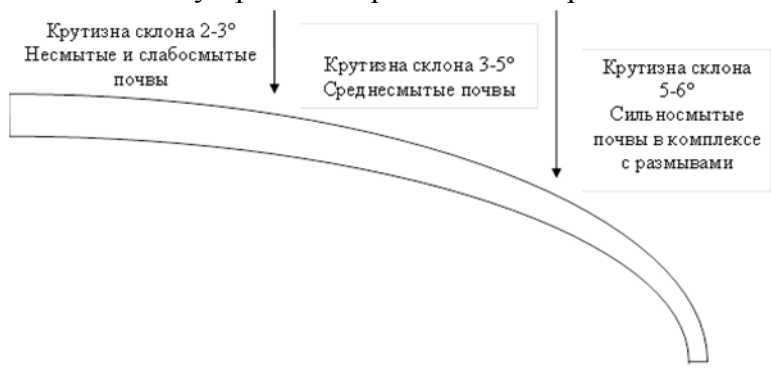


Рисунок 1 – Тип выпуклого профиля водосборов, абсолютно господствующего в районах лесостепи ЕТР

Figure 1 – type of convex catchment profile, absolutely dominant in the areas of forest-steppe ETR

Для лесомелиоративного обустройства выпуклого типа профиля склонов лесостепной зоны создают узкие лесополосы из скороспелых пород, малотребовательных к почвенному плодородию на склоновых землях. Это могут быть береза, на более увлажненных местоположениях – тополь. Из долговечных пород в лесостепи успешно применяется дуб, но на смытых землях его заменяют лиственницей.

При определении закономерностей динамики орографической эффективности лесной мелиорации за основу были взяты ее показатели на склонах крутизной 2,1-3,0° (базовый вариант). Установлено, что затраты на лесомелиоративное обустройство пологих склонов составляют 3-4 тыс. руб. /га облесенного поля и находятся в прямой зависимости от его защитной лесистости и способа производства лесных полос (табл. 1).

Таблица 1 – Затраты на создание и выращивание стокорегулирующих лесных полос в лесостепи на склоновой пашне крутизной 2,1-3,0°, тыс. руб. /га лесомелиорированного поля

Table 1 – Costs of creation and cultivation of flow-regulating forest strips in forest-steppe on slope arable land with steepness of 2,1-3,0°, thousand rubles /ha of forest-reclaimed field

Расчетные показатели	Серые лесные почвы		Выщелоченные черноземы	
Качество зональных почв	Слабосмытые			
Межполосное расстояние, м	270		340	
Число рядов, шт.	3			
Ширина лесных полос, м	8			
Защитная лесистость, %	3,0		2,4	
Лесообразующая порода	Дуб	Береза, тополь	Дуб	Береза, тополь
Срок службы, лет	60	40	60	40
Способ производства	Посев	Посадка	Посев	Посадка
Создание насаждений	1,97	2,33	1,56	1,84
Лесоводственные уходы	0,51	0,27	0,40	0,22
Простейшие гидросооружения (вал-канавы)	1,39		1,11	
Всего	3,87	3,99	3,07	3,17

Первый показатель определяется величиной межполосных расстояний и шириной лесонасаждений, которые в соответствии с проектными документами по лесоразведению в лесостепной зоне, на пологих склонах, соответственно, равны 270-340 и 8 м.

Второй – действующими РТК на создание лесных культур – посев долговечных (дубовых) лесных культур, несмотря на более затратный лесоводственный уход, за счет меньшей стоимости посадочного материала (желудей) обходится дешевле, чем посадка скороспелых лесобразующих пород с использованием семян. Создание простейших гидросооружений увеличивает затраты на 35-36 %.

Отдача от создания стокорегулирующих лесных полос в эрозионноопасном агроландшафте определяется по площади территории (эродируемой в разной степени), в пределах которой происходит контроль эрозии и блокируется вредоносный сток. Это динамичный, меняющийся во времени показатель, имеющий сложную структуру и детерминированность природно-хозяйственными факторами, но поддающийся натуральной оценке. Он складывается из защитных, мелиоративных, сырьевых, климатообразующих и социальных полезностей вступивших в эксплуатационный возраст систем лесополос, имеющих численное выражение [3, 4].

Так, по нашим оценкам денежные эквиваленты указанных полезностей лесонасаждений (в ценах 2017 г.) на склонах крутизной 2,1-3,0° составляют 35-53 тыс. руб. в расчете на гектар агролесоландшафта в среднегодовом за срок жизни полосы исчислении. Наибольшую долю в этой величине составляют экологические эффекты, то есть предотвращение потерь почвенного материала, органического вещества и питательных веществ, создание условий для устойчивого развития традиционных агроландшафтов – 47-79 %. Наряду с почвозащитными функциями лесной мелиорации, в свете последних предложений со стороны первых лиц государства ввести углеродный налог, актуализировались ее климатообразующие способности. Известно, что лесомелиорация обладает огромным потенциалом в качестве средства смягчения последствий изменения климата благодаря своим способностям по поглощению углерода [9]. Экономические (рыночные) эффекты, способствующие увеличению валового регионального продукта макрорегиона за счет производства дополнительной агропродукции и лесосырьевых ресурсов, находятся на втором месте (21-52 %) в структуре совокупного эффекта. Возросшая популярность агротуризма обуславливает определенное социальное значение лесных полос (около 1 %) не только для работников, занятых в агросфере, но и для населения из близлежащих районов.

Таблица 2 – Экономико-социально-экологические выгоды (эффекты), получаемые сельским хозяйством за счет лесомелиорации склоновой пашни крутизной 2,1-3,0° в лесостепи, тыс. руб. /га обустроенного лесом поля в среднем за год

Table 2 – Economic, social and environmental benefits (effects) received agriculture due to forest reclamation of slope arable land steepness of 2,1-3,0° in forest-steppe, thousand rubles / ha of the field equipped with the wood on the average for a year

Эффекты	Серые лесные почвы		Выщелоченные черноземы	
Качество зональных почв	Слабосмытые			
Лесообразующая порода, достигшая проектной высоты	Дуб	Береза, тополя	Дуб	Береза, тополя
Противоэрозионный	16,0	21,2	31,5	41,8
Климатообразующий	0,3	0,2	0,2	0,2
Агромелиоративный	3,3	4,3	2,9	3,7
Древесина	12,6	8,3	8,8	5,8
Дары леса	2,2	2,4	1,5	1,7
Социальный	0,2	0,2	0,1	0,2
Совокупный	34,6	36,6	45,0	53,4

Примечание: При расчетах использовалась ставка дисконтирования $r=2\%$.

Биоэкономическое моделирование в среде разработки Microsoft Excel с построением экономико-технологических моделей систем стокорегулирующих лесных полос в агроландшафте с различной степенью эрозионной опасности позволило определить закономер-

ности орографической динамики затрат и эффектов от лесной мелиорации в зависимости от крутизны склона. Известно, что с ее повышением целесообразно менять требовательные к плодородию лесообразующие породы на культуры, устойчивые к смытым землям, уменьшать межполосные расстояния и ширину лесополос и, как следствие, защитную лесистость агроландшафтов, но одновременно с этим усложнять технологические решения по устройству простейших гидросооружений на крутых склонах и повышать затраты на эти работы.

Расчет индексов орографической эффективности насаждений (таблица 3) свидетельствует, что капиталоемкость противоэрозионного обустройства пашни находится в строгой зависимости от крутизны склона пахотных угодий и уровня эрозионной опасности – увеличивается (индексы > 100) вместе с их ростом за счет уменьшения размера межполосных расстояний (индексы < 100) и повышения норматива лесистости эрозионноопасных землепользований. Величина совокупного эффекта, получаемого сельским хозяйством за счет функционирования противоэрозионных комплексов на склоновой пашне, в указанном направлении повышается более опережающими темпами (индексы > 200), чем затраты, особенно почвозащитный эффект (индексы ≈ 400), когда на крутых склонах лесомелиоративными мероприятиями обеспечивается сокращение значительного ущерба от потерь почвенного плодородия в результате смыва. Это весьма важно не только для хозяйств лесостепной зоны, но и для экономики всей страны, поскольку речь идет о сохранении земельных ресурсов, имеющих достаточно высокую компенсационную стоимость и ценность для агропроизводства.

Таблица 3 – Экономические индексы, определяющие динамику среднегодовой орографической эффективности лесной мелиорации, %

Table 3 – Economic indices that determine the dynamics average annual orographic efficiency of forest reclamation, %

Расчетные показатели	Серые лесные почвы		Выщелоченные черноземы	
Крутизна склона	5,1-6,0°			
Качество зональных почв	Сильносмытые			
Лесообразующая порода	Лиственница	Береза, тополя	Лиственница	Береза, тополя
Межполосное расстояние	48,1		41,1	
Защитная лесистость	153,3		179,2	
Всего затрат на лесомелиорацию склонов, в том числе	180,5	173,1	211,4	202,0
Создание стокорегулирующих лесных полос	158,1	131,5	183,7	153,9
Создание простейших гидросооружений	235,3		273,9	
Совокупный эффект, в том числе	272,7	283,1	346,8	336,9
Противоэрозионный	426,9	383,5	430,8	386,8
Климатообразующий	121,3	113,7	126,4	116,4
Агромелиоративный	121,2	120,9	127,6	129,7
Заготовка древесины	141,3	154,2	155,7	170,7
Заготовка продукции побочного пользования	154,5	154,2	173,3	164,7
Социальный	118,0	121,6	122,9	127,1

Примечание: Индексы (формула исчисления) представляют собой следующую математическую выкладку: стоимостное значение основных показателей эффективности лесной мелиорации на склонах 5,1-6,0° / то же на склонах 2,1-3,0° (база) × 100 %.

Заключение. Таким образом, затраты на обустройство эрозионноопасного землепользования системами стокорегулирующих лесных полос окупаются чистым экономико-социально-экологическим доходом от их влияния на ландшафты несколько раз,

что подтверждает высокую финансовую привлекательность лесной мелиорации в лесостепной зоне даже на крутых склонах, по сравнению с альтернативными вариантами их традиционного использования.

Помимо высокого противозрозионного эффекта, увеличивающегося с ростом уклона местности, лесная мелиорация предоставляет агроландшафтам множество других «зеленых» полезностей, на которых необходимо сосредоточить внимание региональных властей и частных землепользователей, поскольку в стране рост агропроизводства за счет его «экологизации» признан приоритетным направлением экономики.

Для обеспечения устойчивого развития регионов с эрозионноопасными землями необходимо содействовать развитию лесомелиорации, в том числе и с помощью государственно-частного партнерства, а также путем совершенствования фискальной политики, упрощения региональных правил и положений, регулирующих отношения в этой сфере хозяйственной деятельности.

Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадестр». 2018. 888 с.
2. Касимов Д. В., Касимов В. Д. Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования. М.: Мир науки. 2015. 91 с.
3. Корнеева Е. А. Лесная мелиорация как фактор устойчивого развития агропроизводства в Волгоградской области // АПК: экономика, управление. 2019. № 6. С. 55-63. DOI: <https://doi.org/10.33305/196-55>
4. Корнеева Е. А. Экономическая оценка лесосырьевого потенциала склоновых агролесоландшафтов Русской равнины // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16. Вып. 8. С. 1481-1493. DOI: <https://doi.org/10.24891/re.16.8.1481>
5. Манаенков А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е издание переработанное и дополненное. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2018. 428 с.
6. Никольская И. И., Прохорова С. Д. Картографическая оценка структуры эрозионной сети Европейской территории России // Геоморфология. 2014. № 2. С. 53-60.
7. Обоснование прогноза развития защитного лесоразведения в Волгоградской области / К. Н. Кулик, А. Т. Барабанов, А. С. Манаенков [и др.] // Проблемы прогнозирования. 2017. № 6 (165). С. 93-100.
8. Finding alternatives to swidden agriculture: does agroforestry improve livelihood options and reduce pressure on existing forest? / S. A. Rahman, J. B. Jacobsen, J. R. Healey [et al.] // Agroforest Syst. 2017. Vol. 91. Is. 1. P. 185-199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9912-4>
9. Lorenz K., Lal R. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review // Agronomy for Sustainable Development. Springer Verlag .EDP Sciences. INRA, 2014. №34 (2). P. 443- 454. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>.
10. Modelling and valuing the environmental impacts of arable, forestry and agroforestry systems: a case study / S. G. de Jalón, A. Graves, J. H. N. Palma [et al.] // Agroforest Syst. 2018. Vol. 92. Is. 4. P. 1059-1073. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0128-z>
11. Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. Working Paper 179/ R. J. Zomer, A. Trabucco, R. Coe [et al.] // Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF). 2014. 33 p. DOI: <https://doi.org/10.5716/ WP14064>

Reference

1. Gosudarstvennyj doklad "O sostoyanii i ob ohrane okruzhayuschej sredy Ros-sijskoj Federacii v 2017 godu". M.: Minprirody Rossii; NPP "Kadastr". 2018. 888 p.
2. Kasimov D. V., Kasimov V. D. Nekotorye podhody k ocenke jekosistemnyh funkcij (uslug) lesnyh nasazhdenij v praktike prirodopol'zovaniya. M.: Mir nauki. 2015. 91 p.
3. Korneeva E. A. Lesnaya melioraciya kak faktor ustojchivogo razvitiya agroprodukcii v Volgogradskoj oblasti // APK: jekonomika, upravlenie. 2019. № 6. P. 55-63. DOI: <https://doi.org/10.33305/196-55>

4. Korneeva E. A. Jekonomicheskaya ocenka lesosyr'evogo potenciala sklonovykh agrolesolandshaftov Russkoj ravniny // Regional'naya jekonomika: teoriya i praktika. 2018. T. 16. Vol. 8. P. 1481-1493. DOI: <https://doi.org/10.24891/re.16.8.1481>
5. Manaenkov A. S. Lesomelioraciya aren zasushlivoj zony. 2-e izdanie pererabotannoe i dopolnennoe. Volgograd: VNIALMI. 2018. 428 p.
6. Nikol'skaya I. I., Prohorova S. D. Kartograficheskaya ocenka struktury jerozionnoj seti Evropejskoj territorii Rossii // Geomorfologiya. 2014. №. 2. P. 53-60.
7. Obosnovanie prognoza razvitiya zaschitnogo lesorazvedeniya v Volgogradskoj oblasti / K. N. Kulik, A. T. Barabanov, A. S. Manaenkov [i dr.] // Problemy prognozi-rovaniya. 2017. № 6 (165). P. 93-100.
8. Finding alternatives to swidden agriculture: does agroforestry improve livelihood options and reduce pressure on existing forest? / S. A. Rahman, J. B. Jacobsen, J. R. Healey [et al.] // Agroforest Syst. 2017. Vol. 91. Is. 1. P. 185-199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9912-4>.
9. Lorenz K., Lal R. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review // Agronomy for Sustainable Development. Springer Verlag .EDP Sciences. INRA, 2014. №34 (2). P. 443- 454. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>.
10. Modelling and valuing the environmental impacts of arable, forestry and agroforestry systems: a case study / S. G. de Jalón, A. Graves, J. H. N. Palma [et al.] // Agroforest Syst. 2018. Vol. 92. Is. 4. P. 1059-1073. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0128-z>.
11. Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. Working Paper 179/ R. J. Zomer, A. Trabucco, R. Coe [et al.] // Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF). 2014. 33 p. DOI: <https://doi.org/10.5716/ WP14064>.

Информация об авторе

Корнеева Евгения Александровна, старший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (РФ, 400062, Волгоград, проспект Университетский, 97) кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6796-1955>, E-mail: korneeva.eva@list.ru.

УДК 631,582:631,452

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-12

СЕВООБОРОТ – ВАЖНОЕ СРЕДСТВО СОХРАНЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ОРОШАЕМЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ

CROP ROTATION IS AN IMPORTANT MEANS OF PRESERVING THE FERTILITY AND PRODUCTIVITY OF IRRIGATED AGRICULTURAL LANDS

Н. П. Мелихова, кандидат сельскохозяйственных наук

А. А. Зибаров, кандидат сельскохозяйственных наук

Д. С. Тегесов, кандидат сельскохозяйственных наук

Г. М. Севостьянова, младший научный сотрудник

N.P. Melikhova, A.A. Zibarov, D.S. Tegesov, G.M. Sevostyanova

Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, г. Волгоград

All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd

Дата поступления в редакцию 26.07.2019
Received 26.07.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019
Submitted 20.12.2019

В длительном стационарном опыте по изучению специализированных севооборотов в орошаемых условиях в совокупности с системой удобрений и обработки почвы обоснована роль урожаеобразующих факторов на продуктивность орошаемой севооборотной пашни и плодородие почвы. Применяли три системы обработки почвы: плоскорезно-отвальную, поверхностно-отвальную, поверхностно-плоскорезно-отвальную. Изучали применение минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность культур, совместное внесение органических и минеральных удобрений и выращивание исследуемых культур на естественном фоне без удобрений. За ротацию севооборота продуктивность первого севооборота с многолетней бобовой культурой (лю-

церна) в трех севооборотных полях превышала продуктивность второго севооборота, насыщенного смесями однолетних злаково-бобовых культур на 1,4...1,85 т/га кормовых единиц при совместном внесении органических и минеральных удобрений и на 0,64...1,06 т/га кормовых единиц при внесении минеральных удобрений. Основное влияние на продуктивность культур оказывали удобрения (в пределах 70 %), незначительное – обработка почвы (в пределах 10%). Исследование факторов плодородия на базе специализированных севооборотов подтвердили актуальность рационального использования земли, ее сохранения и повышения продуктивности агроценозов до 10,0...13,0 т/га к.ед. с гектара орошаемой пашни при включении в чередование рентабельных, адаптированных к агроландшафтным условиям культур при применении совместного и раздельного внесения органических и минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность культур севооборотов. Установлена возможность стабилизации сельскохозяйственного производства за счет достижения высокой продуктивности орошаемой пашни при соблюдении обоснованных агропретребований чередующихся сельскохозяйственных культур, способствующих сохранению и повышению плодородия почвы.

In the long-term stationary experience on the study of specialized crop rotations in irrigated conditions in conjunction with the system of fertilizers and soil cultivation, the role of crop-forming factors on the productivity of irrigated crop rotation arable land and soil fertility is justified. Used three systems of soil treatment: plascrite-otvalnuyu, worked out slightly-otvalnuyu, worked out slightly-plascrite-otvalnuyu. We studied the use of mineral fertilizers designed for the planned crop yield, the joint application of organic and mineral fertilizers and the cultivation of the studied crops on a natural background without fertilizers. For rotation of crop rotation productivity of the first crop rotation with a perennial legume crop (alfalfa) in three crop rotation fields exceeded the productivity of the second crop rotation, saturated with mixtures of annual cereals and legumes on 1,4/...1,85 t/ha of feed units with the joint application of organic and mineral fertilizers and 0,64...1,06 t/ha of feed units when applying mineral fertilizers. The main influence on the productivity of crops had fertilizers (within 70%), a slight - tillage (within 10%). The study of fertility factors on the basis of specialized crop rotations confirmed the relevance of the rational use of land, its preservation and increase the productivity of agroecosystems to 10,0 – 13,0 t/ha. units per hectare of irrigated arable land when included in the alternation of cost-effective crops adapted to agrolandscape conditions with the use of joint and separate application of organic and mineral fertilizers, designed for the planned yield of crop rotations; the possibility of stabilization of agricultural production by achieving high productivity of irrigated arable land in compliance with reasonable agricultural requirements of alternating crops, contributing to the preservation and improvement of soil fertility.

Ключевые слова: севооборот, обработка почвы, система удобрений, продуктивность пашни, плодородие почвы.

Key words: crop rotation, tillage, fertilizer system, arable productivity, soil fertility.

Цитирование: Мелихова Н. П., Зибаров А. А., Тегесов Д. С., Севостьянова Г. М. Севооборот – важное средство сохранения плодородия и повышения продуктивности орошаемых агроландшафтов. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 92-99. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-12.

Citation: Melikhova N. P., Zibarov A. A., Tegesov D. S., Sevostyanova G. M. Crop Rotation is an important means of preserving fertility and increasing productivity of irrigated agricultural landscapes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 18-25. 92-99 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-12.

Введение. Увеличение продуктивности почв при сохранении плодородия почвы – одна из важнейших проблем сельскохозяйственного производства [3, 5, 6, 8].

Значимость проблемы охраны почвенного плодородия заключается в том, что в процессе использования почв их гумус минерализуется, а образующиеся элементы питания отчуждаются из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур. Величина урожая с единицы площади зависит как от плодородия почвы, так и от того, насколько рационально используется почва в течение всего вегетационного периода. Наиболее эффективным фактором стабилизации продуктивности орошаемых почв при обязатель-

ном сохранении плодородия являются научно-обоснованные севообороты, которые по степени влияния на урожайность сельскохозяйственных культур среди агротехнических мероприятий имеют первостепенное значение [2, 4].

Севооборот является важнейшим средством эффективного подбора и чередования сельскохозяйственных культур во времени и пространстве [1, 8, 10, 12]. Только в севообороте можно наиболее эффективно применять систему удобрений, обработки почвы, борьбы с сорняками и болезнями, способствовать росту урожайности всех сельскохозяйственных культур и объемов производства растениеводческой продукции, повышению плодородия почвы [2, 9].

В современных условиях ведения орошаемого земледелия одним из главных направлений НИР является разработка оптимального сочетания основных урожайобразующих факторов и прежде всего подбор культур, система обработки почвы, режимы орошения и питания. Применение минеральных удобрений должно основываться на принципах оптимального соотношения и строгой сбалансированности элементов питания в системе «почва – агроценоз» и обязательной регламентированности сроков и доз внесения удобрений.

Все эти вопросы изучаются Всероссийским НИИ орошаемого земледелия с 2000 года в полевом стационарном опыте. Целью исследований является научное обоснование чередования адаптированных сельскохозяйственных культур в системе севооборотов, применения дифференцированных систем обработки почвы и норм удобрений на продуктивность орошаемой пашни и плодородия почвы.

Материалы и методы. Изучались два шестипольных севооборота с различным соотношением зерновых и кормовых культур в совокупности с системой обработки почвы и удобрений (схема опыта). Система обработки почвы включала плоскорезно-отвальную, поверхностно-отвальную и поверхностно-плоскорезно-отвальную. Система удобрений: без удобрений; полная доза минеральных удобрений, рассчитанная на планируемую урожайность (минеральный фон); одна вторая часть полной дозы минеральных удобрений плюс 10 т/га навоза (органо-минеральный фон).

Почвы опытного участка светло-каштановые тяжелосуглинистые с низким содержанием гумуса в пахотном слое (1,8...2,3 %), средней обеспеченностью подвижными формами фосфора (15...30 мг/100 г почвы) и повышенным обменным калием (300...400 мг/100 г почвы).

Результаты и обсуждение. Полученные результаты исследований за время прохождения ротации севооборотов свидетельствуют о дифференцированном влиянии на продуктивность севооборотов систем обработки почвы и удобрений.

В условиях орошения важное значение имеет наличие в пахотном и подпахотном слоях почвы большого количества водопрочных агрегатов, т.е. частиц почв, способных сохранять устойчивость к размывающему действию поливной водой.

Установлено, что количество водопрочных агрегатов в севообороте с многолетними травами (севооборот 1) в слое 0,0...0,25 м за ротацию увеличивалось на 14,2...25,2 %, в слое 0,25...0,50 м – на 10,4...17,0 %, во втором севообороте с преобладанием пропашных культур это увеличение составило соответственно 10,4...16,0 и 8,4...12,4 % относительно к исходной величине (таблица 2).

Органо-минеральные удобрения, изменяя химические и физические свойства почвы, способствовали большему по сравнению с другими вариантами удобрений накоплению водопрочных агрегатов. Так, если в первом севообороте по безудобренному фону в среднем по всем вариантам с обработками превышение водопрочных агрегатов за ротацию в слое 0...0,25 м составляло 14 %, в слое 0,25...0,50 м – 11 %, то во втором севообороте – 10,9 и 9,4 %; по минеральному фону – соответственно 18,1, 14,9 и 16,1, 11,1 %, по органо-минеральному фону – 22,2, 16,8 и 15,2, 10,8 %.

Таблица 1 – Схема опыта / Table 1 – Scheme experience

№ Севооборота/ № Crop rotation	Годы исследований / Years of research	2000	2001	2002	2003	2004	2005
I	Чередование культур / обработка почвы / tillage	Яровые на монокром + люцерны /Spring on monokrom + alfalfa	Люцерна Lucerne	Люцерна Lucerne	Кукуруза на силос Corn for silage	Оз. Пшеница + пожнивные / Oz. Wheat + stubble	Кукуруза на зерно/ Grain maize
	1. плоскорезно-отвальная /flat-blade	Вспашка /Tillage 0,25...0,27 м	-	-	Вспашка /Tillage 0,28...0,30 м	Плоскорез/Flat cutter, 0,20-0,22 м	Вспашка /Tillage, 0,28...0,30 м
	2. поверхностно-отваль- ная /surface dump	Плоскорез/Flat cutter 0,25...0,27 м	-	-	То же Same	Лущение/ Stubble 0,10...0,12м	То же Same
	3. поверхностно-плоско- резно-отвальная / surface flat cutting	Плоскорез/Flat cutter 0,25...0,27 м	-	-	То же Same	То же Same	Плоскорез/Flat cutter, 0,28...0,30 м
II	чередование культур/ crop rotation	Горохо- подсолнечниковая смесь / Peas- sunflower mix	Кукуруза на зерно / Grain maize	Кукурузо- суданковая смесь / Kukuruza-Sudakovo mix	Кукурузо- подсолнечниковая смесь /Corn- sunflower mixture	Кукурузо-соевая смесь / Corn-soy mixture	Овсяно-гороховая смесь + поукосные / Oat-pea blend + cover
	1. плоскорезно-отвальная flat-blade	Вспашка /Tillage 0,20...0,22м	Вспашка /Tillage 0,28...0,30 м	Плоскорез/Flat cutter 0,20...0,22 м	Плоскорез/Flat cutter 0,28...0,30 м	Вспашка /Tillage 0,28...0,30 м	Плоскорез/Flat cutter 0,20...0,22 м
	2.поверхотно-отвальная surface dump	Лущение/ Stubble 0,10...0,12м	То же Same	Лущение /Stubble 0,10...0,12м	Лущение/ Stubble 0,10...0,12 м	То же Same	Лущение/ Stubble 0,10...0,12 м
	3.поверхотно-отвальная плоскорезно-отвальная surface flat cutting	Плоскорез, Flat cutter, 0,20...0,22 м	То же Same	То же Same	Плоскорез/ Flat cutter, 0,28...0,30м	Вспашка/ Tillage 0,20...0,22м	То же Same

Таблица 2 – Динамика количества водопропускных агрегатов за ротации севооборотов, %. Среднее за 2000-2005 гг.

Table 2 – Dynamics of the number of water-treatment units per rotation of crop rotations, %. Average for 2000-2005

№ Севооборота Crop rotation	Сроки определения / Terms of determination	Обработка 1 / Processing 1			Обработка 2 / Processing 2			Обработка 3 / Processing 3		
		Без удобрений/ Without fertilizers	NPK	NPK + навоз manure	Без удобрений/ Without fertilizers	NPK	NPK + навоз manure	Без удобрений/ Without fertilizers	NPK	NPK + навоз manure
I	Начало ротации /Start of rotation	32,6	49,5	32,6	49,5	32,6	49,5	32,6	49,5	32,6
	Конец / End	48,5	59,9	52,5	66,3	56,0	67,9	54,9	59,9	48,3
	Прирост/Growth	15,8	10,4	19,9	16,7	23,4	18,4	12,3	10,4	15,7
II	Начало ротации Start of rotation	33,7	46,2	33,7	46,2	33,7	46,2	33,7	46,2	33,7
	Конец / End	45,4	56,7	45,8	56,7	49,9	56,6	44,1	54,6	47,4
	Прирост/Growth	11,7	10,5	12,1	10,5	16,2	9,8	10,4	8,4	13,7

Таким образом, состав культур в севообороте и удобрения наиболее сильно влияют на увеличение водопрочных агрегатов. Управляя этими факторами, можно регулировать структурное состояние почвы.

Существенное действие на структуру почвы при этом оказывают растения с хорошо развитой корневой системой и наземными органами, посевы которых не требуют проведения обработки почвы в течение всего периода вегетации. Этим условиям полностью отвечают многолетние бобовые травы, у которых масса корней и наземные растительные остатки примерно равны урожаю. Эффективны для структурообразования и однолетние бобово-мятликовые травосмеси, но в меньшей степени вследствие короткого периода вегетации. Из зерновых культур большой способностью к образованию почвенной структуры обладают озимые с более продолжительным периодом вегетации и хорошо развитой корневой системой, предохраняющие почву осенью и весной от разрушительного действия поливной воды и атмосферных осадков.

Пропашные культуры тоже играют определенную роль в улучшении структуры почвы, но во втором севообороте количество водопрочных агрегатов по всем изучаемым факторам было значительно ниже, чем в первом.

Сохранению плодородия почвы и накоплению гумуса как основного фактора плодородия способствует сырая органическая масса, поступающая в почву в виде пожнивно-корневых остатков сельскохозяйственных культур.

Возделывание той или иной культуры требует определенной обработки почвы. В севообороте с люцерной (1) в течение 2-3 лет ее не проводят, за исключением боронования ранней весной и послеукосных поливов, почва под озимыми культурами не подвергается глубинному рыхлению в течение года, под пропашными культурами (2-й севооборот) рыхление почвы проводится и во время вегетации. В связи с этим, интенсивность разложения органического вещества в почве под разными культурами разная и определяется это не только биологическими особенностями культур, но и технологией их возделывания.

Как свидетельствуют данные наших исследований (таблица 3), наибольшее количество пожнивно-корневых остатков (33,4...42,86 т/га) характерно для севооборота с многолетними травами и озимыми культурами и меньшее (18,4...30,05 т/га) – с пропашными культурами (2-й севооборот).

Таблица 3 – Поступление пожнивно-корневых остатков в почву
за ротацию севооборота, т/га (в слое 0...0,5 м)

Table 3 – The intake of crop-root residues in the soil for rotation of crop rotation, t/ha
(in the layer 0 ... 0,5 m)

№ Севооборота	Фон удобрений	Обработка почвы		
		Плоскорезно-отвальная	Поверхностно-отвальная	Плоскорезно-отвально-поверхностная
I	Без удобрений	34,50	33,42	34,50
	НПК	38,07	35,92	33,89
	Навоз + НПК	40,97	41,21	42,86
II	Без удобрений	20,47	18,44	31,08
	НПК	29,98	24,92	27,09
	Навоз + НПК	30,05	28,12	28,93

Следовательно, изменяя соотношение культур в севооборотах, можно регулировать содержание органического вещества в почве. Кроме того, как показали исследования, количество поступающих в почву за ротацию севооборота растительных остатков можно увеличить (на 10...14 т/га) путем включения в севооборот промежуточных культур.

При внесении удобрений наибольшее количество растительных остатков формировалось по органо-минеральному фону в обоих севооборотах.

Обработка почвы незначительно влияла на данный показатель, но все же несколько выше он был при проведении плоскорезно-отвально-поверхностной обработки.

За одну ротацию севооборотов сложно определить изменение количества гумуса в пахотном слое почвы, но, тем не менее, результаты исследований показывают, что в севообороте с люцерной при внесении на один гектар посевов 60 т навоза содержание общего гумуса возрастало на 0,12 по сравнению с исходным его количеством (таблица 4).

Таблица 4 – Динамика содержания гумуса за ротацию севооборотов, %

Table 4 – the Dynamics of the content of humus for rotation of crop rotation, %

Фон удобрений	Обработка почвы	Слой почвы, м	Конец ротации севооборота	
			первого	второго
Без удобрений	1	0...0,25	2,110	1,700
		0,25...0,50	1,510	1,210
	3	0...0,25	2,110	1,730
		0,25...0,50	1,430	1,460
Органо-минеральный	1	0...0,25	2,210	1,800
		0,25...0,50	1,350	1,350
	3	0...0,25	2,210	1,620
		0,25...0,50	1,780	1,480
Минеральный	1	0...0,25	2,080	2,080
		0,25...0,50	1,519	1,510
	3	0...0,25	2,050	2,050
		0,25...0,50	1,590	1,510

Примечание. Исходное содержание гумуса на всех вариантах опыта в слое почвы 0...0,25 м составляло 1,993 %, в слое 0,25...0,50 м – 1,473 %.

Большой ущерб земледелию, особенно в условиях орошения, наносят сорняки, поэтому вопросу засоренности посевов в наших исследованиях было уделено большое внимание, так как она зависит от состава культур, их конкурентной способности, применяемой агротехники, удобрений и других факторов. Экспериментально подтверждено, что очистителем поля является люцерна. К концу ее вегетации количество сорняков независимо от обработки почвы и внесенных удобрений значительно снижалось.

В первом севообороте, где несколько полей было занято этой культурой, количество сорняков на метре квадратном составляло в среднем 37 шт., а в севообороте без люцерны – 59.

Значительное влияние на засоренность оказывают обработки почвы. На варианте опыта с отвально-плоскорезной обработкой количество сорняков на 1 м² посевов изменялось в пределах 30...54 шт., было несколько выше (37...59,0 шт.) – при проведении плоскорезно-отвально-поверхностной и более высокой – (44,7...65,0 шт.) – поверхностно-плоскорезной.

При внесении минеральных удобрений количество сорняков по сравнению с безудобренным фоном не увеличивалось, а масса была в 1,2 раза больше. При внесении органических удобрений и количество сорняков, и их масса возрастали почти в 1,5 ... 2,0 раза, что связано с качеством вносимого навоза. Эти данные свидетельствуют о том, что при научно обоснованном чередовании культур, выполнении агротехнических мероприятий в сроки с хорошим качеством можно добиться снижения засоренности посевов до допустимых пределов без применения химических средств защиты.

Изучаемые факторы земледелия: севооборот, система обработки почв и удобрений – играют определяющую роль в формировании продуктивности севооборотов и качестве получаемой продукции. Как показывает многолетние экспериментальные данные (таблица 5), наиболее продуктивен первый севооборот при внесении органо-минеральных удобрений и проведении дифференцированной (3) системы обработки почвы, продуктивность которого составляла 13.9 к.ед. с гектара пашни.

Таблица 5 – Продуктивность севооборотов. Среднее за 2000-2005 гг., т/га

Table 5 – Crop rotation productivity. Average for 2000-2005, t / ha

№ Севооборота	Система удобрений	Система основной обработки почвы					
		Плоскорезно-отвальная		Поверхностно-отвальная		Поверхностно-плоскорезно-отвальная	
		корм.ед.	протеин	корм.ед.	протеин	корм.ед.	протеин
1	Без удобрений	8,75	1,33	8,69	1,32	8,05	1,37
	NPK + навоз	12,80	1,68	12,78	1,62	13,90	1,64
	NPK	11,36	1,49	11,35	1,47	11,7	1,44
2	Без удобрений	7,48	0,72	7,07	0,66	7,86	0,74
	NPK + навоз	11,39	1,23	11,52	1,12	12,05	1,30
	NPK	10,72	1,06	9,83	0,95	10,73	1,05

Заключение. Таким образом, научно обоснованное чередование культур в севооборотах различной специализации, дифференцированная обработка почвы и органо-минеральные удобрения являются основными факторами, обеспечивающими повышение продуктивности агроценозов, стабилизацию агрофизического состояния почвы, сохранение её плодородия, снижение экологической напряженности в орошаемых агроландшафтах. Получение 10,0...13,0 т.к.ед. с гектара пашни возможно при включении в чередование рентабельных, соответствующих специализации хозяйств и адаптированных к местным условиям культур – это многолетние бобовые травы с двух-трехлетним сроком использования, однолетние кормовые культуры (суданская трава, силосная кукуруза, смеси этих культур с бобовыми и злаковыми компонентами). Достигнутая продуктивность пашни обеспечивает рентабельность производства сельскохозяйственных культур на уровне 60,0...65,0 %.

Библиографический список

1. Васюков П. П., Цыганков В. И. Новая система земледелия. Краснодар: Изд-во «ЭДВИ». 2012. 155 с.
2. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия / Е. А. Зеленский, Г. М. Зеленская, Г. В. Мокриков, А. Ю. Шуркин // Земледелие. 2018. №5. С.4-7.
3. Кружилин И. П., Кузнецова Н. В., Козинская О. В. Сочетание орошения дождеванием с агромелиоративными приемами обеспечивает сохранение и повышение плодородия почвы. // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. №57-1. С. 84-89.
4. Экологизация севооборотов и биологическая система воспроизводства почвенного плодородия в стеной зоне Южного Урала / А. В. Кислов, А. П. Глинушкин, А. В. Кашеев и др. // Земледелие. 2018. №6. С. 6-10.
5. Факторы управления плодородием почвы в системе орошаемых севооборотов Нижнего Поволжья / В. В. Мелихов, А. А. Зибаров, Н. П. Мелихова, Л. В. Вронская // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. №4. 2018. С. 96-103.
6. Плескачев Ю. Н., Сухов А. Н., Мисюряев В. Ю. О севооборотах в Нижнем Поволжье // Земледелие. 2013. №2. С. 3-5.
7. Пыхтин И. Г., Дубовик Д. В., Айдиев А. Я. Текущие проблемы в земледелии // Земледелие. 2018. № 5. С. 8-11.

8. Stefan M., Gheorghe D., Ion V. Results regarding the impact of crop rotation and fertilization on the yield and some plant traits at maize cultivated sandy soils in South Romania // *Agrolife scientific journal*. 2018. Dec. P. 124-131.

9. Effects of long-term rotation and tillage practice on grain yield and protein of wheat and soil fertility on a Vertisol in a medium-rainfall temperate environment / Armstrong R. D., Perris R., Munn M., Dunsford K., Robertson F., Hollaway G. J. // *Crop & pasture science*. 2019. P. 1-15.

10. Effect of Soybean Maize Rotation on Soil Microbial Community Structure / Zhang P., Sun J.Y., Li L.J., Wang X.X., Li X.T., Qu J.H. // *Agronomy-Basel*. 2019. Feb. P. 42.

Reference

1. Vasyukov P. P., Cygankov V. I. *Novaya sistema zemledeliya*. Krasnodar: Izd-vo "JeDVI". 2012. 155 p.

2. Plodorodie pochvy: nastoyashee i budushee nashego zemledeliya / E. A. Zelenskij, G. M. Zelenskaya, G. V. Mokrikov, A. Yu. Shurkin // *Zemledelie*. 2018. №5. P.4-7.

3. Kruzhilin I. P., Kuznecova N. V., Kozinskaya O. V. Sochetanie orosheniya dozhddevaniem s agromeliorativnymi priemami obespechivaet sohranenie i povyshenie plodorodiya pochvy. // *Puti povysheniya jeffektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2015. №57-1. P. 84-89.

4. Ekologizaciya sevooborotov i biologicheskaya sistema vosпроизводства почвенного плодородия в стеной зоне Южного Урала / A. V. Kislov, A. P. Glinushkin, A. V. Kascheev i dr. // *Zemledelie*. 2018. №6. P. 6-10.

5. Faktory upravleniya plodorodiem pochvy v sisteme oroshaemyh sevooborotov Nizhnego Povolzh'ya / V. V. Melihov, A. A. Zibarov, N. P. Melihova, L. V. Vronskaya // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee proffesial'noe obrazovanie*. №4. 2018. P. 96-103.

6. Pleskachev Yu. N., Suhov A. N., Misyuryaev V. Yu. O sevooborotah v Nizhnem Povolzh'e // *Zemledelie*. 2013. №2. P. 3-5.

7. Pyhtin I. G., Dubovik D. V., Ajdiev A. Ya. Tekuschie problemy v zemledelie // *Zemledelie*. 2018. № 5. P. 8-11.

8. Stefan M., Gheorghe D., Ion V. Results regarding the impact of crop rotation and fertilization on the yield and some plant traits at maize cultivated sandy soils in South Romania // *Agrolife scientific journal*. 2018. Dec. P. 124-131.

9. Effects of long-term rotation and tillage practice on grain yield and protein of wheat and soil fertility on a Vertisol in a medium-rainfall temperate environment / Armstrong R. D., Perris R., Munn M., Dunsford K., Robertson F., Hollaway G. J. // *Crop & pasture science*. 2019. P. 1-15.

10. Effect of Soybean Maize Rotation on Soil Microbial Community Structure / Zhang P., Sun J.Y., Li L.J., Wang X.X., Li X.T., Qu J.H. // *Agronomy-Basel*. 2019. Feb. P. 42.

Информация об авторах

Мелихова Надежда Павловна, старший научный сотрудник отдела орошаемого земледелия и агроэкологии, Всероссийский НИИ орошаемого земледелия (Р.Ф. 400002, Волгоград, Тимирязева 9), кандидат сельскохозяйственных наук, vniiioz@yandex.ru

Зибаров Анатолий Александрович, ведущий сотрудник отдела орошаемого земледелия и агроэкологии, Всероссийский НИИ орошаемого земледелия (Р.Ф. 400002, Волгоград, Тимирязева 9), кандидат сельскохозяйственных наук, a_zibarov@mail.ru

Тегесов Дольган Сергеевич, научный сотрудник отдела орошаемого земледелия и агроэкологии, Всероссийский НИИ орошаемого земледелия (Р.Ф. 400002, Волгоград, Тимирязева 9), кандидат сельскохозяйственных наук, dolgan08@mail.ru

Севостьянова Галина Михайловна, младший научный сотрудник отдела орошаемого земледелия и агроэкологии, Всероссийский НИИ орошаемого земледелия (Р.Ф. 400002, Волгоград, Тимирязева 9), vniiioz@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 630:502.13:351.853.2

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-11

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ НА ОБРАЖНО-БАЛОЧНЫХ ЗЕМЛЯХ ПРАВОГО БЕРЕГА ДОНА С ЦЕЛЬЮ СОХРАНЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

SCIENTIFIC BASIS FOR CREATION OF A NATURAL MONUMENT ON THE RAVINE-BEAM LANDS OF THE RIGHT BANK OF THE DON IN ORDER TO PRESERVE THE UNIQUE SILVICULTURAL COMPLEXES

А. В. Кулик¹, кандидат сельскохозяйственных наук

О. А. Гордиенко^{1,4}, аспирант

А. М. Пугачева¹, кандидат сельскохозяйственных наук

В. П. Воронина², доктор сельскохозяйственных наук

А. И. Узолин³, кандидат сельскохозяйственных наук

A. V. Kulik¹, O. A. Gordienko^{1,4}, A. M. Pugacheva¹, V. P. Voronina², A. I. Uzolin³

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград

²Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

³Клетская научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН, ст. Клетская, Волгоградская обл., Российская Федерация

⁴Волгоградский государственный университет, г. Волгоград

¹*Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forestation of Russian Academy of Sciences», Volgograd*

²*Volgograd State Agrarian University*

³*Kletskaya Research Agroforestry Experimental Station – the branch of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, St. Kletskaya, Volgograd region, Russian Federation*

⁴*Volgograd State University, Volgograd*

Дата поступления в редакцию 11.10.2019
Received 11.10.2019

Дата принятия к печати 16.12.2019
Submitted 16.12.2019

В результате комплексного экологического (КЭО) и почвенно-геоботанического обследования территории Клетской научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станции проведено современное зонирование и оценка состояния агролесоландшафтов. Методической основой являлись почвенная карта (М 1:2000), космоснимки спутника Bing, фондовые материалы: таксационная характеристика лесонасаждений, карта объектов коренной мелиорации (М 1 : 10000). Уникальные объекты лесохозяйственной науки заложены в 1960-1970 гг. на землях коренной мелиорации. Положительный опыт создания лесонасаждений из *Pinus pallasiana* и *Pinus sylvestris* выявлен на мелах и серых глинистых опоках. Сформированная система стокорегулирующих лесных полос на месте оврагов глубиной до 6 м, а также участок комплексного агролесомелиоративного обустройства (кустарниковые кулисы, валы и др.) показали эффективность проведенных почвозащитных мероприятий. На склоне оврага Висленький на каменистых почвах выявлены хорошо развивающиеся лесные культуры *Juniperus sabina*, занесенного в Красную книгу Волгоградской области. Уникальность территории как геоморфологического объекта заключается в наличии выходов меловых пород с характерной для них кальциефильной растительностью. На основе КЭО составлена карта, где выделено четыре ядра площадью 144 га с уникальными природными ландшафтами и объектами лесохозяйственной науки, буферная зона (224 га), выполняющая природоохранную и рекреационную роль особо охраняемой природной территории (ООПТ). В настоящее время агролесоландшафты станции являются «оазисами» в сухой степи, которые интенсивно используются для отдыха, что повышает вероятность ландшафтных пожаров из-за преобладания в древостоях хвойных пород. Со-

здание на территории станции ООПТ обеспечит долговременное функционирование уникальных природных комплексов, позволит раскрыть потенциал агролесоландшафтов в целях сохранения лесных культур и кальциефильных популяций, а также сформировать систему экологического каркаса, позволяющего повысить эффективность рекреационного туризма и просветительно-образовательных мероприятий.

As a result of a comprehensive ecological and soil-geobotanical survey of the territory of the Kletskaya Scientific Research Agroforestry Experimental Station, modern zoning and assessment of the state of agroforestry shafts were carried out. The methodological basis was the soil map (M 1: 2000), satellite images of the Bing satellite, stock materials: taxation characteristics of forest stands, a map of the objects of radical reclamation (M 1: 10000). Unique objects of forestry science were laid in 1960-1970. on lands of radical reclamation. Positive experience in the creation of afforestation from *Pinus pallasiana* and *Pinus sylvestris* was revealed on chalk and gray clay flasks. The formed system of stock-regulating forest strips at the place of ravines up to 6 m deep, as well as a site of a comprehensive agroforestry-reclamation arrangement (shrubbery scenes, ramparts, etc.) have shown the effectiveness of soil protection measures. On the slope of the Wislenky ravine on stony soils, well-developed forest cultures of *Juniperus sabina*, listed in the Red Book of the Volgograd Region, were identified. The uniqueness of the territory as a geomorphological object lies in the presence of outcrops of Cretaceous rocks with typical calciphilic vegetation. Based on the comprehensive ecological survey, a map was compiled where four cores with an area of 144 hectares with unique natural landscapes and objects of forestry science were identified, a buffer zone (224 hectares) performing the environmental and recreational role of a specially protected natural area. Currently, the station's agroforest land-scapes are an «oasis» in the dry steppe, which are intensively used for recreation, which increases the likelihood of landscape fires due to the predominance of conifers in the forest stands. The creation of a specially protected natural area on the station's territory will ensure the long-term functioning of unique natural complexes, will allow to unleash the potential of agroforestry in order to preserve forest crops and calciphilic populations, and also to form an ecological framework system that will increase the effectiveness of recreational tourism and educational events.

Ключевые слова: организация ООПТ, памятники природы, комплексная экологическая оценка, коренная мелиорация малопродуктивных земель, экологический каркас территории, объекты лесохозяйственной науки.

Key words: organization of a specially protected natural area, a natural monument, a comprehensive environmental assessment, amelioration of unproductive lands, the ecological framework of the territory, a unique object of forestry science.

Цитирование. Кулик А. В., Гордиенко О. А., Пугачева А. М., Воронина В. П., Узолин А. И. Научное обоснование создания памятника природы на овражно-балочных землях правого берега Дона с целью сохранения уникальных лесокультурных комплексов. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 100-110. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-11.

Citation. Kulik A. V., Gordienko O. A., Pugacheva A. M., Voronina V. P., Uzolin A. I. Scientific basis for creation of a natural monument on the ravine-beam lands of the right bank of the don in order to preserve the unique silvicultural complexes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 100-110 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-11.

Введение. Клетская научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН (Клетская НИАГЛОС) – была создана весной 1932 г. Основным направлением научно-исследовательской деятельности на протяжении 77 лет является изучение эрозионных процессов, разработка и совершенствование мероприятий по борьбе с ними в условиях Среднего Дона, подбор и испытание ассортимента древесных и кустарниковых пород, а также агролесоландшафтное обустройство территории. Основной вклад в создание и разработку новых мероприятий по мелиорации сильно эродированных территорий с малопродуктивным почвенным по-

кровом внесли ученые ВНИАЛМИ. Под руководством директора Духнова В. К. мероприятиями по коренной мелиорации склоновых земель были охвачены все ландшафты станции [1]. До настоящего времени лесные насаждения с комплексом гидротехнических сооружений являются уникальными объектами лесной мелиорации в степной зоне, были включены в перечень ООПТ согласно п.2 ст. 23 закона Волгоградской области от 07 декабря 2001 года №641-ОД «Об особо охраняемых природных территориях Волгоградской области (с изменениями на 27.12.2018 г.)» [2, 12, 13, 14].

Территория агролесоландшафтов на склоновых землях ранее являлась особо охраняемой природной территорией (ООПТ) по распоряжению Клетского районного Совета народных депутатов №7/257 от 13.07.1976 г. Затем статус ООПТ был ликвидирован (Постановление Волгоградской областной думы от 19.10.2006 г. №15/504 «О признании утратившим силу решения малого совета Волгоградского областного совета народных депутатов от 25.02.1993 г. №6/41 «Об особо охраняемых территориях Волгоградской области и режиме их использования»).

В настоящее время территория станции, включая созданные на ней уникальные лесоаграрные объекты, из-за возросшего антропогенного воздействия подвержена интенсивным процессам деградации почвенно-растительного покрова, загрязнения гидрологических объектов, замусоривания бытовыми отходами, а несанкционированные зоны отдыха повышают риск возникновения ландшафтных пожаров. Чрезвычайно подвержены возгоранию хвойные лесные культуры, в том числе популяции можжевельника казацкого, занесенного в Красную книгу области [8, 10, 14]. Возврат статуса ООПТ в границах научно-исследовательской станции позволит сохранить для потомков ценный научный опыт создания уникальных лесоландшафтных комплексов, обеспечит необходимый экологический каркас и систему экологических коридоров, обеспечивающих свободную миграции наземных и водных животных, воспроизводство уникальных растительных популяций.

В рамках реализации национального проекта «Экология» в части увеличения числа ООПТ и «Стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 года», утвержденной законом Волгоградской области от 21.10.2008 г. №1778-ОД, проведено комплексное экологическое обследование (КЭО) территории станции для организации охранной зоны памятника природы [11].

Целью создания ООПТ является обеспечение долговременного функционирования лесокультурных комплексов в целях сохранения опытов успешного защитного лесоразведения в сложных геоморфологических и почвенных условиях, а также создание экологического каркаса территории.

Задачами создания ООПТ являются комплексная оценка состояния территории; выявление степени антропогенной трансформации экосистем; оценка возможного негативного воздействия хозяйственной деятельности на компоненты окружающей среды для сохранения, восстановления и поддержания ландшафтно-биологического разнообразия; сохранение уникальных объектов лесохозяйственной науки и геологических обнажений, имеющих особую научную ценность; создание условий для экологического просвещения и образования.

Материалы и методы. КЭО проводилось в 2018-2019 гг. В рамках комплексного обследования были изучены климатические, почвенно-растительные характеристики, структура землепользования. На основе полученной информации было составлено зонирование планируемого памятника природы и предложен режим охраны. КЭО производилось по общепринятым методикам и рекомендациям обследования территорий для организации ООПТ [3, 19, 21, 22]. На основе полученной в ходе полевых исследо-

ваний информации была составлена картографическая база данных, объединяющая результаты дешифрирования материалов дистанционного зондирования. При проведении КЭО территории использовались: почвенная карта станции (М 1 : 2000), космоснимки спутника Bing, фондовые материалы Клетской НИАГЛОС (таксационная характеристика лесонасаждений, кадастровая выписка о земельном участке, научные отчеты), карта объектов коренной мелиорации (М 1 : 10000).

Результаты и обсуждение. Общая площадь Клетской НИАГЛОС составляет 368 га. Из них под пашню используется 41,0 га, под сенокосы – 21,4 га. Остальная территория занята защитными лесными насаждениями. Основной сельскохозяйственной культурой является озимая пшеница, выращиваемая в двухпольном севообороте.

Территория Клетской НИАГЛОС расположена в зоне сухих степей с гидротермическим коэффициентом 0,6-0,7. Климат резко континентальный: малоснежные и холодные зимы, сухое и жаркое лето. Среднегодовая сумма осадков 385 мм. В течение года господствуют ветры юго-западного направления со скоростью ветра до 15 м/с. Отрицательными факторами климата являются неравномерное увлажнение в течение года, ливневый характер выпадения осадков, засухи и суховеи, высокая скорость ветра, пониженная относительная влажность воздуха в летний период. К положительным факторам можно отнести продолжительный безморозный период, сумма положительных температур составляет более 3000. Климатические особенности свидетельствуют о неблагоприятных условиях произрастания и возобновления древесно-кустарниковой растительности.

Территория станции относится к Хоперско-Иловлинско-Донскому гидрологическому району. Максимальная абсолютная высота водораздела достигает 252 м. Базис эрозии составляет 100-206 м. Материнскую породу представляют палеогеновые отложения, с характерными стволовыми и останцовыми водоразделами [13, 15].

Станция расположена в западном полого-волнистом районе Восточно-Донской гряды юго-восточного окончания Среднерусской возвышенности, и ее территория сильно (49 %) расчленена овражно-балочной сетью. Балки Черникова и Цицулина, а также суходол Кобелевский отличаются наиболее крутыми склонами. Поверхность суходола представлена выходами мергеля, мела и серых глинистых опок. Базис эрозии – 94 м. Крутые берега гидрографической сети составляют 174 га. Участки, изрезанные промоинами и размывами, крутизной от 8 до 32°, занимают площадь 26 га (15 %). Щебенисто-каменистые днища балок и суходола, площадью 6 га, имеют среднюю крутизну 1°. Встречаются донные размывы.

Степень дренированности территории гидрологической сетью неоднородная. Уровень грунтовых вод на водоразделах составляет 50 м. В днищах балок и оврагов он достигает 4 м, иногда отмечаются выходы потоков в виде родников, образующих ручьи, пересыхающие в летний период. Вода слабо минерализована (0,5-1,0 г/л), главным образом гидрокарбонатного типа.

Поверхностный сток талых вод в последнее десятилетие или отсутствовал полностью (вследствие теплых и малоснежных зим), или был незначительный (до 5 мм), формируясь в результате выпадения дождей в ранневесенний период на промерзшую почву.

По результатам обследования были заложены почвенные разрезы для описания основных типов почв исследуемой территории. Почвенный покров представлен преимущественно черноземами текстурно-карбонатными (AU-CAT-C_{ca}), занимающими 210,34 га (57,16 %) и агрочерноземами текстурно-карбонатными (P-CAT-C_{ca}) – 41,05 га (11,15 %) разной степени солонцеватости и смывости в комплексе с интразональными солонцами темно-гумусовыми (AU-SEL-ASN-BCAs,cs-Csa,s). Содержание гумуса зави-

сит от степени смытости от 3 до 0,8 %. Карболитоземы темно-гумусовые (редзины) (AU-(C_{ca})-R_{ca}), приуроченные к местам проведения мероприятий по коренной мелиорации, составляют 35,55 га (9,66 %). Содержание гумуса высокое до 5 % [10]. Почвенный покров в днищах балок и оврагов представлен черноземами текстурно-карбонатными квазиглеевыми (AU-CAT-Q-CQ), со стратоземами темно-гумусовыми (RU1-RU2-...D) и стратоземами темно-гумусовыми на погребенном черноземе текстурно-карбонатном (RY-{AU-CAT-C_{ca}}) (64,58 га или 17,55 %).

По международной классификации почв (WRB, 2014) почвы станции входят в реферативные почвенные группы Kastanozem, Chernozem, Solonetz, Leptosols и Regosol.

В растительном покрове преобладают микротермные ксерофильные травянистые растения, в основном дерновинные злаки: ковыль (*Stipa rubens*, *S. capillata*, *S. Stenophylla* и др.), типчак (*Festula rupicola*, *F. sulcata*), тонконог сизый и гребенчатый (*Koeleria glauca*, *K. cristata*). Из мезофитов представлены костер безостый (*Bromus intermis*) и береговой (*B. riparius*), мятлик живородящий и узколистый (*Poa crispa*, *P. angustiflora*), единично житняк гребневидный (*Agropyron pectiniforme*). Из разнотравья: ромашник (*Tanacetum achilleifolium*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), люцерна романская (*Medicago romantica*), прутняк (*Kochia prostrata*) и пр. Обильное распространение получили эфемеры и эфемероиды [5].

Водоразделы заняты ксерофитными разнотравно-типчаково-ковыльными ассоциациями. На склонах северной экспозиции произрастают мезофитные виды, а на южных – ксерофитные. В верховьях балок и по склонам преобладают типчак (*Festula sulcata*), мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), полынь черная и австрийская (*Artemisia pauciflora*), камфоросма монпельйская и Лессинга (*Camphorosma monspeliacum*, *C. lessingii*), грудница мохнатая (*Linosyris villosa*), кохия простертая (*Kochia prostrata*). На крутых слабозадернованных склонах преобладают петрофилы, представленные астрагалом (*Astragalus albicaulis*), васильком растопыренным (*Centaurea divaricatus*). В местах скопления обломочного материала и на меловых обнажениях распространены: норичник меловой (*Scrophularia cretaceus*), иссоп меловой (*Hyssopus cretaceus*), смолевка меловая (*Silene cretacea*), копеечник меловой (*Hedysarum cretaceum*), чабрец меловой (*Thymus cretaceus*) и пр.

Лесорастительные условия отличаются большим разнообразием вследствие разной степени расчлененности рельефа, многообразия почвенных условий и степени смытости почв, поэтому при проектировании лесонасаждений, подборе ассортимента древесно-кустарниковых пород, агротехнологии выращивания, сельскохозяйственном использовании применялся дифференцированный подход. Созданные на этих землях лесонасаждения являются уникальным достижением лесохозяйственной науки и практики. Это, прежде всего, различные виды защитных насаждений: водорегулирующие, прибалочные и приовражные насаждения по откосам и водотокам оврагов, русловые насаждения-фильтры по днищам балок и на участках обнаженной серой глинистой опоки. Несмотря на слаборазвитый почвенный покров, сохранность древесных насаждений к настоящему времени колеблется от 70 до 90%, лишь в нижней части склона правобережья б. Кобельная всего 50% из-за сильной степени смытости почв.

Уникальным объектом лесохозяйственной науки является создание в 1972 г. лесополосы из сосны крымской (*Pinus pallasiana*) и обыкновенной (*Pinus sylvestris*) на серой глинистой опоке и мелах в верховье о. Висленький шириной 30 м, снизу которой располагается водозадерживающий вал длиной 200 м и высотой 1,5 м. Ниже по склону насаждения в 1981 г. были высажены 30 сеянцев можжевельника казацкого (*Juniperus sabina*), занесенного в Красную книгу Волгоградской области [6, 10, 16], а в 1992 г. на меловом склоне заложен опыт по его искусственному разведению, приживаемость и развитие которого к настоящему времени оценивается как удовлетворительное (рисунок 1).

В 1970-х годах XX века на серых глинистых опоках на площади 0,5 га созданы противоэрозионные лесные полосы из лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) (рисунок 2). Сохранность насаждений на данный момент составляет до 85 % и имеет 3 класс бонитета. Эта древесная культура характерна для восточной и северо-восточной части лесной зоны Европейской территории России, Западной и Восточной Сибири и Урала, произрастает в нетипичных для нее степных условиях, отличающиеся бедным почвенным покровом, засушливым климатом, неравномерным выпадением осадков и почвенно-гидрологическими условиями. Поэтому этот опыт лесоразведения имеет большое научное и практическое значение.



А) *Pinus sylvestris* и *P. pallasiana*

Б) *Juniperus sabina*

Рисунок 1 – Лесные культуры на серой глинистой опоке и мелах в верховье оврага Висленький

Figure 1 – Forest plantations in the grey clayey silica clay and chalk in the upper reaches of the ravine Valenki



Рисунок 2 – Лесные культуры *Larix sibirica*

Figure 2 – Forest cultures of *Larix sibirica*

На территории водосбора оврага Долгий разработана комплексная система противоэрозионных мероприятий. Ее уникальность заключается в создании на выположенных отвершках оврагов 7 однорядных кулис (1962 г. посадки) из караганы древо-

видной (*Caragana arborescens*), смородины золотистой (*Ribes aureum*), шиповника, лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia*) и вишни магалебской (*Cerasus mahaleb*); две прибалочные лесные полосы (1954 г.) шириной 30 м из вяза приземистого (*Ulmus pumila*), смородины золотистой и жимолости татарской (*Lonicera tatarica*); а также система стокорегулирующих лесополос (1938-1959 гг.) из дуба черешчатого (*Quercus robur*), вяза приземистого, яблони лесной (*Malus sylvestris*) и др. (рисунок 3).



Рисунок 3 – Система лесных полос: полезащитные, приовражные

Figure 3 – System of shelterbelts: shelterbelts, priovrazhnoe

По откосам и склонам правобережья суходола Кобелевский имеются выходы меловых пород, представляющие огромную геологическую, ботаническую и рекреационную ценность. Здесь сформировалась специфическая растительность, характерная для кальцеофильных степей. Меловые геологические обнажения являются объектом экскурсий не только местных жителей, но и туристов [18, 20].

На основе КЭО были выделены уникальные природные ландшафты и объекты лесохозяйственной науки – древесно-кустарниковые насаждения, выполняющие роль ядра, создаваемого ООПТ, а также буферная зона (224 га) (рисунок 4) [4, 7].

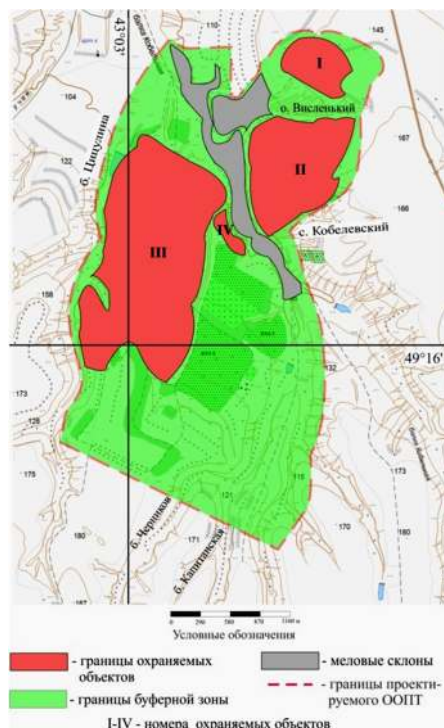


Рисунок 4 – Проектируемые границы ООПТ и охраняемые объекты

Figure 4 – Projected boundaries of protected areas and protected objects

На площади 368 га выделяется территория особой охраны (ядро) – 144 га, включающая уникальные объекты лесохозяйственной науки, а также геологические обнажения меловых пород суходола Кобелевский. Объект I – территория 1,8 га, произрастают 50-ти летние насаждения сосны крымской и обыкновенной, можжевельник казацкий. Объект II площадью 40,6 га с системой защитных лесных насаждений на месте коренной мелиорации из сосны крымской и обыкновенной, дуба черешчатого, тополя пирамидального (*Populus pyramidalis*), клена ясенелистного (*Acer negundo*), вишни магалебской, осины (*Populus tremula*), караганы древовидной. Объект III включает комплексную систему противоэрозионных мероприятий из караганы древовидной, смородины золотистой, шиповника, лоха узколистного и вишни магалебской, вяза приземистого, жимолости татарской, а также дуба черешчатого, яблони лесной общей площадью 88 га. Объект IV – облесение откосов и днищ оврагов на площади 5 га вязом приземистым, кленом ясенелистным и вишней магалебской. Геологические обнажения представлены выходами меловых пород по откосам правобережья б. Кобелевская.

Охраняемую зону перспективного памятника природы по природным особенностям можно считать уникальным ландшафтом правобережья Среднего Дона. Ценность его заключается в наличии нетипичных для степной зоны лесоландшафтных комплексов, имеющих особое значение для сохранения и восстановления малопродуктивных земель, поддержания экологического баланса экосистем, а также огромно научное и эколого-просветительское значение.

Заключение. Накопленный к настоящему времени опыт по облесению сильно-эродированных и слаборазвитых почв, включая обнажения коренных пород (мел, серая глинистая опока), позволил выявить перспективные породы деревьев и кустарников для закрепления и предотвращения развития эрозионных процессов и деградации поверхности склоновых земель.

Главным результатом деятельности охранной зоны памятника природы послужит сокращение антропогенного влияния на территорию, улучшение состояния природной среды, охрана животного и растительного мира, включая объекты лесохозяйственной науки, развитие туристических и рекреационных возможностей.

Созданный на территории Клетской НИАГЛОС памятник природы будет первым из сети ООПТ Волгоградской области, направленных на сохранение уникальных лесокультурных комплексов.

Библиографический список

1. Барабанов А. Т., Узолин А. И., Кулик А. В. Оценка эффективности коренной мелиорации малопродуктивных земель в зоне каштановых почв Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. №4. С. 45-51.
2. Бузмаков С. А., Зайцев А. А., Санников П. Ю. Особенности проектирования природного парка // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. №4. С. 35-43.
3. Буйволова А.Ю., Прокофьева Т. В., Курбанова Ф. Г. Руководство для проведения соревнования по полевому описанию и диагностике почв. Москва: ООО «Эксперт», 2018. 40 с.
4. Вишняков Н. В., Холоденко А. В. Функциональное зонирование территории как основа туристско-рекреационного проектирования // Вестник Национальной академии туризма. 2016. №2(38). С. 34-37.
5. Воронина В. П., Узолин А. И., Кулик А. В. Биологическая продуктивность пастбищных экосистем суходольных водосборов Среднего Дона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. №3 (51). С. 43-50.
6. Каримова О. А., Абрамова Л. М., Голованов Я. М. Анализ современного состояния популяций редких видов растений памятника природы Троицкие меловые горы (Оренбургская область) // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. №1(70). С. 51-59.

7. Король О. И. Разработка локальной ландшафтной карты и разработка функционального зонирования ООПТ в долине реки Охты и ее притоков // Метеорологический вестник. 2018. Т. 10. №5. С. 68-86.
8. Красная книга Волгоградской области. Т.2: Растения и другие организмы / под ред. О. Г. Барановой, В. А. Сагалаева. Волгоград - Воронеж: Принт, 2017. 268 с.
9. Красная книга почв Волгоградской области / К. Н. Кулик, В. М. Кретинин, А. С. Рулев, В. М. Шишкунов. Волгоград: ООО «Принт-2», 2017. 224 с.
10. Манаенков А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии РАН, 2018. 428 с.
11. Опыт комплексного экологического обследования планируемой особо охраняемой природной территории - государственного природного заказника "Балтийская коса" / В. П. Дедков, Г. В. Гришанов, С. И. Зотов, П. П. Чернышков // Географический вестник. 2016. №3(38). С. 121-126.
12. Павлейчик В. М. Методологические подходы к обоснованию развития систем ООПТ степных регионов (на примере Оренбургской области) // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. №4. С. 1-20.
13. Рябинина Н. О. История и перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий в зоне степей юго-востока русской равнины // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2017. №2(45). С. 61-72.
14. Рябинина Н. О., Канищев С. Н., Шинкаренко С. С. Современное состояние и динамика степных геосистем юго-востока русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. №1. С. 116-127.
15. Рябинина Н. О. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий в степной зоне юго-востока русской равнины (на примере Волгоградской области) // Проблемы региональной экологии. 2013. №4. С. 236-241.
16. Рябинина Н. О., Холоденко А. В., Шилова Н. В. Ключевые аспекты сохранения степных кальцефильных ландшафтов в Волгоградской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т.17. №6. С. 191-195.
17. Рябинина Н. О., Шилова Н. В. Изучение и перспективы сохранения степных кальцефильных ландшафтов Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2013. №1(22). С. 236-242.
18. New characterization aspects of carbonate accumulation horizons in Chalky Champagne (NE of the Paris Basin, France) / D. Linoir, C. Thomachot-Schneider, M. Gommeaux, G. Fronteau, V. Barbin // Comptes Rendus Geoscience. 2016. Vol. 348. Is. 5. P. 368-378.
19. Soil Survey Staff 2014. Illustrated guide to soil taxonomy. Lincoln, Nebraska: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 2014. 552 p.
20. The role of IUCN protected area categories in the conservation of geoheritage / K. S Woo, J. E. Gordon, R. Crofts, E. Diaz-Martinez, P. J. McKeever, W. Hill // Geophysical Research Abstracts. 2015. Vol. 17. P. 2592.
21. Woo K. S. Role of IUCN WCPA Geoheritage Specialist Group for geoheritage conservation and recognition of World Heritage Sites, Global Geoparks and other protected areas // Geophysical Research Abstracts. 2017. Vol. 19. P. 1137.
22. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (update 2015). Rome: FAO, 2015. 203 p.

Reference

1. Barabanov A. T., Uzzolin A. I., Kulik A. V. Ocenka jeffektivnosti korennoj melioracii malo-produktivnyh zemel' v zone kashtanovyh pochv Volgogradskoj oblasti // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2016. №4. P. 45-51.
2. Buzmakov S. A., Zajcev A. A., Sannikov P. Yu. Osobennosti proektirovaniya prirodnogo parka // Antropogennaya transformaciya prirodnoj sredy. 2018. №4. P. 35-43.
3. Bujvolova A. Yu., Prokof'eva T. V., Kurbanova F. G. Rukovodstvo dlya provedeniya sorevnovaniya po polevomu opisaniyu i diagnostike pochv. Moskva: ООО "Jeks-pert", 2018. 40 p.

4. Vishnyakov N. V., Holodenko A. V. Funkcional'noe zonirovanie territorii kak osnova turistsko-rekreacionnogo proektirovaniya // Vestnik Nacional'noj akademii turizma. 2016. №2(38). P. 34-37.
5. Voronina V. P., Uzun A. I., Kulik A. V. Biologicheskaya produktivnost' pastbishnyh jekosistem suhodol'nyh vodosborov Srednego Dona // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. №3 (51). P. 43-50.
6. Karimova O. A., Abramova L. M., Golovanov Ya. M. Analiz sovremennogo sostoyaniya populyacij redkih vidov rastenij pamyatnika prirody Troickie melovye gory (Orenburgskaya oblast') // Aridnye jekosistemy. 2017. Vol. 23. №1(70). P. 51-59.
7. Korol' O. I. Razrabotka lokal'noj landshaftnoj karty i razrabotka funkcional'nogo zonirovaniya OOPT v doline reki Ohty i ee pritokov // Meteorologicheskij vestnik. 2018. Vol. 10. №5. P. 68-86.
8. Krasnaya kniga Volgogradskoj oblasti. T.2: Rasteniya i drugie organizmy / pod red. O. G. Baranovoj, V. A. Sagalaeva. Volgograd - Voronezh: Print, 2017. 268 p.
9. Krasnaya kniga pochv Volgogradskoj oblasti / K. N. Kulik, V. M. Kretinin, A. S. Rulev, V. M. Shishkunov. Volgograd: OOO "Print-2", 2017. 224 p.
10. Manaenkov A. S. Lesomelioraciya aren zasushlivoj zony. Volgograd: Federal'nyj nauchnyj centr agrojekologii RAN, 2018. 428 p.
11. Opyt kompleksnogo jekologicheskogo obsledovaniya planiruemoj osobo ohranyaemoj prirodnoj territorii - gosudarstvennogo prirodnogo zakaznika "Baltiyskaya kosa" / V. P. Dedkov, G. V. Grishanov, S. I. Zotov, P. P. Chernyshkov // Geograficheskij vestnik. 2016. №3(38). P. 121-126.
12. Pavlejchik V. M. Metodologicheskie podhody k obosnovaniyu razvitiya sistem OOPT stepnyh regionov (na primere Orenburgskoj oblasti) // Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN. 2017. №4. P. 1-20.
13. Ryabinina N. O. Istoriya i perspektivy razvitiya seti osobo ohranyaemyh prirodnih territorij v zone stepej yugo-vostoka russkoj ravniny // Izvestiya Altaj-skogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2017. №2(45). P. 61-72.
14. Ryabinina N. O., Kanishev S. N., Shinkarenko S. S. Sovremennoe sostoyanie i dinamika stepnyh geosistem yugo-vostoka russkoj ravniny (na primere prirodnih parkov Volgogradskoj oblasti) // Yug Rossii: jekologiya, razvitie. 2018. Vol. 13. №1. P. 116-127.
15. Ryabinina N. O. Perspektivy razvitiya seti osobo ohranyaemyh prirodnih territorij v stepnoj zone yugo-vostoka russkoj ravniny (na primere Volgogradskoj oblasti) // Problemy regional'noj jekologii. 2013. №4. P. 236-241.
16. Ryabinina N. O., Holodenko A. V., Shilova N. V. Klyuchevye aspekty sohraneniya stepnyh kal'cefil'nyh landshaftov v Volgogradskoj oblasti // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2015. Vol. 17. №6. P. 191-195.
17. Ryabinina N. O., Shilova N. V. Izuchenie i perspektivy sohraneniya stepnyh kal'cefil'nyh landshaftov Volgogradskoj oblasti // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Jekonomika. Jekologiya. 2013. №1(22). P. 236-242.
18. New characterization aspects of carbonate accumulation horizons in Chalky Champagne (NE of the Paris Basin, France) / D. Linoir, C. Thomachot-Schneider, M. Gom-meaux, G. Fronteau, V. Barbin // Comptes Rendus Geoscience. 2016. Vol. 348. Is. 5. P. 368-378.
19. Soil Survey Staff 2014. Illustrated guide to soil taxonomy. Lincoln, Nebraska: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 2014. 552 p.
20. The role of IUCN protected area categories in the conservation of geoheritage / K. S. Woo, J. E. Gordon, R. Crofts, E. Diaz-Martinez, P. J. McKeever, W. Hill // Geophysical Research Abstracts. 2015. Vol. 17. P. 2592.
21. Woo K. S. Role of IUCN WCPA Geoheritage Specialist Group for geoheritage conservation and recognition of World Heritage Sites, Global Geoparks and other protected areas // Geophysical Research Abstracts. 2017. Vol. 19. P. 1137.
22. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (update 2015). Rome: FAO, 2015. 203 p.

Информация об авторах

Кулик Анастасия Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8736-5464> kulik-a@vfanc.ru

Гордиенко Олег Андреевич, аспирант ВолГУ, лаборант-исследователь лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5381-9114> oleg.gordienko.95@bk.ru.

Пугачева Анна Михайловна, ученый секретарь ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-8056> pugachevaa@vfanc.ru

Воронина Валентина Павловна, профессор Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3441-5314> v.p.voronina@mail.ru.

Узолин Алексей Иванович, ведущий научный сотрудник Клетской научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станции – филиал ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 403560 Волгоградская обл., ст. Клетская, ул. Дымченко, д. 15), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5375-6894> s.erozii@yandex.ru.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

УДК 633.11: 575

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-13

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МАКРОЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДИ- И ТЕТРАПЛОИДНЫХ ВИДОВ ПШЕНИЦЫ

THEORETICAL ASPECTS OF REGULARITIES OF MACROEVOLUTIONARY TRANSFORMATIONS OF DI - AND TETRAPLOID KINDS OF WHEAT

Б. В. Романов¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

К. И. Пимонов², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

B. V. Romanov¹, K. I. Pimonov²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФГБНУ ФРАНЦ), п. Рассвет, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Донской государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»), п. Персиановский, Ростовская область, Россия

¹ Federal State Budget Scientific Institution
«Rostov Federal Agricultural Research Centre», Rostov region, Russia

² Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Don State Agrarian University», Rostov region, Russia

Дата поступления в редакцию 28.08. 2019
Received 00.00.2019

Дата принятия к печати 02.12.2019
Submitted 02.12.2019

Многочисленные факты параллелизма наследственной изменчивости потенциальных признаков, закономерностей в систематике и эволюции свидетельствуют о целесообразности поиска номотетической систематики, подобной системе Д.И. Менделеева. Однако систематизация в роде *Triticum* базируется на таких показателях, как число хромосом, разнокачественный геномный состав, определенные морфологические признаки и др. Исследователи не в полной мере основываются на знании параллелизма наследственной изменчивости фенотипов существующих форм. Цель настоящей работы – учитывая закономерности макроэволюционных преобразований в строении колоса у ди- и тетраплоидных видов пшеницы и опираясь на закон гомологических рядов наследственной изменчивости, показать недостающие звенья в формо-

образовательном процессе у тетраплоидных гомологичных видов пшеницы. В качестве объектов исследования использовали диплоидные и тетраплоидные видообразцы пшеницы, колосья которых рассматривали в соответствующих рядах по мере их закономерных макроэволюционных преобразований: дикие, с обламывающимися колосками, плёнчатые и голозёрные. Оценку видообразцов проводили в фазу полной спелости. Располагая колосья видов пшеницы в определённых рядах на ди- и тетраплоидном уровнях, фиксировали закономерные фенотипические изменения. В начале у представителей второй филогенетической ветви пшеницы, где родоначальником является *Triticum boeoticum* Boiss. A^b, затем подключили гомологичных тетраплоидных представителей, родоначальником которой считают *T.urartu* Thum. ex Gandil. A^u. В результате исследований показаны закономерные параллельные изменения в строении колоса у диплоидных и тетраплоидных видов пшеницы. Установлено достаточно хорошо выраженное фенотипическое сходство в строении колосьев в тождественных рядах при переходе от диплоидов к тетраплоидам, а также между тетраплоидными видами – гомологами, с разным геномным составом. Однако *Triticum persicum*, предполагаемый гомолог тетраплоида *T.militinae*, достаточно сильно отличался от последнего. Поэтому, учитывая большое фенотипическое сходство колосьев тетраплоидных видов – гомологов и опираясь на закон гомологических рядов наследственной изменчивости, сделали вывод о том, что закономерные макроэволюционные преобразования колосьев у ди- и тетраплоидных видов пшеницы в соответствующих гомологических рядах позволяют предположить возможность появления у полбяных видов A^uA^uBB плотноколосого голозёрного гомолога, фенотипически сходного с *T.militinae*.

Numerous facts of parallelism of the hereditary variability of potential characters, regularities in systematics and evolution indicate the advisability of searching for nomothetic systematics similar to D.I. Mendeleev. However, the systematization in the genus *Triticum* is based on such indicators as the number of chromosomes, heterogeneous genomic composition, certain morphological characters, etc. Researchers are not fully based on the knowledge of the parallelism of the hereditary variation of phenotypes of existing forms. The purpose of this work, taking into account the laws of macroevolutionary transformations in the structure of the spike in di- and tetraploid kinds of wheat, and, based on the law of homologous series of hereditary variability, to show the missing links in the shaping process in tetraploid homologous kinds of wheat. As objects of study, diploid and tetraploid specimens of wheat were used, the ears of which were considered in the corresponding series as they were subject to regular macroevolutionary transformations: wild, with breakable spikelets, membranous and black-grain. Species were evaluated in the full ripeness phase. With ears of wheat in certain rows at di- and tetraploid levels, regular phenotypic changes were recorded. In the beginning, representatives of the second phylogenetic branch of wheat, where the ancestor is *Triticum boeoticum* Boiss. A^b, then connected homologous tetraploid representatives, the ancestor of which is considered *T.urartu* Thum. ex Gandil. A^u. The studies showed regular parallel changes in the structure of the spike in diploid and tetraploid kinds of wheat. A fairly pronounced phenotypic similarity was found in the structure of ears in identical rows during the transition from diploids to tetraploids, as well as between tetraploid kinds - homologues with different genomic composition. However, *Triticum persicum*, the alleged homologue of the tetraploid *T.militinae*, was quite different from the latter. Therefore, taking into account the great phenotypic similarity of ears of tetraploid kinds - homologs and, based on the law of homological series of hereditary variability, it was concluded that the regular macroevolutionary transformations of ears in di- and tetraploid kinds of wheat in the corresponding homological series suggest the possibility of occurrence in A^uA^uBB, a tight-banded bare-grain homolog phenotypically similar to *T.militinae*.

Ключевые слова: пшеница, диплоидные и тетраплоидные видообразцы, закономерные изменения, строение колосьев, фенотипическое сходство, макроэволюционные преобразования, гомологичные формы.

Ключевые слова: пшеница, диплоидные и тетраплоидные видообразцы, закономерные изменения, строение колосьев, фенотипическое сходство, макроэволюционные преобразования, гомологичные формы.

Цитирование. Романов Б. В., Пимонов К. И. Теоретические аспекты закономерности макроэволюционных преобразований ди- и тетраплоидных видов пшеницы. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 110-119. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-13.

Citation. Romanov B. V., Pimonov K. I. Theoretical aspects of regularities of macroevolutionary transformations of di - and tetraploid kinds of wheat. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 110-119 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-13.

Введение. По итогам 2018/2019 сельскохозяйственного года общий урожай зерновых культур в мире (без зернобобовых или риса) составил 2 млрд 81 млн. тонн. Из них на пшеницу пришлось 35 %. В 2018 году, по данным Росстата, пшеница (озимая и яровая) была посеяна на площади в 27 252,6 тыс. га, валовые сборы пшеницы составили 72 068,2 тыс. тонн. Урожайность пшеницы в России составила 27,2 ц/га (озимой пшеницы – 35,1 ц/га, яровой пшеницы – 16,8 ц/га) [13]. В связи с обострением экологических, энергетических и экономических проблем при возделывании озимых культур большое внимание уделяется селекции и семеноводству, способам обработки почвы, комплексному применению средств защиты растений, удобрений и регуляторов роста, так как они являются неотъемлемыми составляющими современных сельскохозяйственных технологий [5, 6, 7, 11].

Многочисленные факты параллелизма наследственной изменчивости потенциальных признаков, закономерностей в систематике и эволюции свидетельствуют о целесообразности поиска номотетической систематики, подобной системе Д.И. Менделеева. Н.И. Вавилов (1935) также указывал на близость развития биологии и химии: «Современная биология в своем развитии повторяет путь органической химии». Более того, он показал примеры, где роды и линнеоны растений и животных составляют гомологические ряды форм, как и гомологичные серии углеводов. Однако систематизация в роде *Triticum* базируется на таких показателях, как число хромосом, разнокачественный геномный состав, определенные морфологические признаки и др. (Джонс Мак Кей, 1968; Гончаров Н.П., 2000; Романов Б.В., Козлечков Г.А., Сорокина И.Ю., 2013).

Как отмечал А.В. Яблоков (1989), исследователи не в полной мере основываются на знании параллелизма наследственной изменчивости фенотипов существующих форм. Определенные движения в этом направлении были сделаны казахскими учеными, когда, наряду с другими генетическими факторами, виды пшеницы подразделяли на дикие с обламывающимися колосками и плёнчатые (Жангазиев А.С., 2011). Очень важным в такой работе является непосредственное знание закономерностей видообразовательного процесса у пшеницы, что существенно помогает, как и в созданной Д.И. Менделеевым таблице, предсказывать нахождение тех или иных видовых форм, согласно закону гомологических рядов наследственной изменчивости. Актуальность таких исследований не вызывает сомнения, поскольку уже предпринимаются попытки создания синтетических видовых форм на тетра- и гексаплоидном уровне. [1, 3, 4, 10, 12, 14, 15]. Более того, показана востребованность видов пшеницы, влияние геномов на фенотипические признаки и, в частности, выявлена высокая мутабельность такого вида пшеницы как *T.petropavlovskiy*, из которого выделены в результате спонтанной мутации другие видовые формы [2, 8, 9]. Для понимания данного процесса необходим как можно более полный охват видового разнообразия, чем мы и воспользовались, владея коллекцией видов пшеницы. Список коллекции имеется на сайтах: rosta-grn.ru (ФГБНУ ФРАНЦ) и AGROMAESTRO.COM.

Цель настоящей работы – учитывая закономерности макроэволюционных преобразований в строении колоса у ди- и тетраплоидных видов пшеницы и опираясь на закон гомологических рядов наследственной изменчивости, показать недостающие звенья в формообразовательном процессе у тетраплоидных гомологичных видов пшеницы.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали диплоидные и тетраплоидные видообразцы пшеницы, колосья которых рассматривали в том числе и в соответствующих гомологических рядах, по мере их закономерных макроэволюционных преобразований от диких форм с обламывающимися колосками к плёнчатому и далее голозёрному. Колосья сравниваемых видообразцов отбирали в фазу созревания зерна. Располагая колосья видообразцов пшеницы в определённой последовательности на диплоидном и тетраплоидном уровнях, фиксировали закономерные фенотипические изменения в их строении. В начале у представителей второй филогенетической ветви пшеницы, где родоначальником является *Triticum boeoticum* Boiss. A^b, затем подключили гомологичных представителей, родоначальником которой считают *T.urartu* Thum. ex Gandil. A^u.

Исследования проводились на базе коллекции видов пшеницы Федерального Ростовского аграрного научного центра (ФГБНУ ФРАНЦ).

Результаты и обсуждение. Закономерные повторяющиеся видовые особенности строения колосьев в рядах на диплоидном и тетраплоидном уровне четко просматриваются у представителей второй филогенетической ветви пшеницы. Дикий диплоид *T.boeoticum* имеет обламывающиеся колоски. У него отсутствуют верхние колоски, также как у тетраплоидного вида пшеницы *T.araraticum* Jakubz. Это связано с тем, что в фазу созревания они попросту осыпаются и первыми обламываются верхние колоски, которые не стали прикладывать (рисунок 1).

Далее следуют плёнчатые виды пшеницы: диплоидный *T.monococcum* L. и под ним тетраплоидный *T.timopheevii* Zhuk. Завершающими в горизонтальном ряду оказались голозёрные образцы пшеницы: в диплоидном - *T.sinskajae* A.Filat. et Kurk., а в тетраплоидном - *T.militinae* Zhuk.



Рисунок 1 – Колосья:

- 1- *T. boeoticum*, 2- *T. monococcum*, 3- *T. sinskajae* (2n=14)
4- *T. araraticum*, 5- *T. timopheevii*, 6- *T. militinae* (2n=28)

Figure 1 – Ears:

- 1- *T. boeoticum*, 2- *T. monococcum*, 3- *T. sinskajae* (2n=14)
4- *T. araraticum*, 5- *T. timopheevii*, 6- *T. militinae* (2n=28)

Следовательно, слева направо, независимо от уровня ploидности пшеницы, наблюдается закономерное изменение колосьев: обламывающиеся → плёнчатые → голозёрные. В то же время отмечается определённое сходство в рядах сверху – вниз: от диплоидных к тетраплоидным видам. Так, *T.araraticum* ($2n=28$) практически повторяет *T.boeoticum* ($2n=14$), только он несколько крупнее последнего. То же самое наблюдается между плёнчатыми образцами: от диплоидного *T.monococcum* к тетраплоидному *T.timopheevii*. Несмотря на отличия в окраске и плотности колоса *T.militinae*, тем не менее её сходство с *T.sinskajae* не вызывает сомнения.

Вполне очевидна закономерность изменчивости колосьев в рядах (справа налево) как у диплоидов, так и тетраплоидов. Одновременно видна тождественность в строении колосьев в соответствующих рядах (сверху вниз) от диплоидных к тетраплоидным видам пшеницы.

При сравнении диплоидных представителей второй филогенетической ветви *T.boeoticum*, *T.monococcum*, *T.sinskajae* с образцами колосьев тетраплоидных видов, родоначальником которой является *T.urartu*, в качестве плёнчатой формы использовали колосья сразу трёх образцов. По центру располагается колос *T.karamyschevi*, слева колос *T.dicoccum*, справа *T.dicoccum* v. *tricoccum* (рисунок 2). Последние, представлены самостоятельно, потому, что различия в размерах у них не просто «меньше – больше», а вероятно, генетически обусловлены [8].



Рисунок 2 – Колосья: 1- *T. boeoticum*, 2- *T. monococcum*, 3- *T. sinskajae* ($2n=14$),
4- *T. dicoccoides* (Koern. Ex Aschers. Et Graebn), Sscweinf ($2n=28$),
5- *T. dicoccum* (Schränk) Schuebl., *T. karamyschevii* Nevski ($2n=28$),
T. dicoccum v. *tricoccum* ($2n=28$), 6- *T. persicum* Vav. ($2n=28$)

Figure 2 – Ears: 1- *T. boeoticum*, 2- *T. monococcum*, 3- *T. sinskajae* ($2n=14$),
4- *T. dicoccoides* (Koern. Ex Aschers. Et Graebn), Sscweinf ($2n=28$),
5- *T. dicoccum* (Schränk) Schuebl., *T. karamyschevii* Nevski ($2n=28$),
T. dicoccum v. *tricoccum* ($2n=28$), 6- *T. persicum* Vav. ($2n=28$)

Здесь также просматривается достаточно выраженное сходство в строении колосьев между диплоидными и тетраплоидными видами. По крайней мере, фенотипическая близость между дикими: диплоидным *T.boeoticum* и тетраплоидным *T.dicoccoides*, а также между плёнчатыми: диплоидным *T.monococcum* и тетраплоидными *T.dicoccum*, *T.karamyshevii*, *T. dicoccum* v. *tricoccum*, вполне очевидна.

Хотя наибольшее сходство у плёнчатых образцов отмечается всё же между диплоидным *T.monococcum* и тетраплоидным *T.karamyshevii*. Близость строения колоса последней, с однозернянкой, можно оценить и на фото в научном труде, изданном под редакцией В.Ф. Дорофеева (Пшеницы мира, 1987). Однако тетраплоидного голозёрного аналога, который фенотипически соответствовал бы диплоиду *T.sinskajae*, у тетраплоидных представителей A^uA^uBB пока нет. *T.persicum*, хотя это и голозёрная форма, из-за несоответствия строения своего колоса она не может претендовать на место аналога *T.sinskajae*.

Это проявляется и при совместном рассмотрении представителей обеих филогенетических ветвей пшеницы (рисунок 3). Верхний ряд диплоидные представители второй филогенетической ветви; второй ряд – их тетраплоидные аналоги A^bA^bGG ; в третьем ряду тетраплоидные гомологи вторых с геномным составом A^uA^uBB . Следует подчеркнуть, что *T.persicum* A^uA^uBB , представлен не только черноколосым, но и светлоколосым образцами. Из плёнчатых представителей тетраплоидных форм A^uA^uBB изучался *T.karamyshevii*.



Рисунок 3 – Колосья:

1-*T.boeoticum*, 2-*T.monococcum*, 3-*T.sinskajae* $2n=14)A^b$, 4-*T.araraticum*, 5-*T.timopheevii*, 6-*T.militinae* ($2n=28$), A^bA^bGG ; 7-*T.dicoccoides*, 8-*T.karamyshevii*, 9-*T.persicum* ($2n=28$) A^uA^uBB

Figure 3 – Ears:

1-*T.boeoticum*, 2-*T.monococcum*, 3-*T.sinskajae* $2n=14)A^b$, 4-*T.araraticum*, 5-*T.timopheevii*, 6-*T.militinae* ($2n=28$), A^bA^bGG , 7-*T.dicoccoides*, 8-*T.karamyshevii*, 9-*T.persicum* ($2n=28$) A^uA^uBB

В этой связи отдельно рассмотрим колосья *T.militinae* и *T.persicum* как предполагаемых гомологов. Фенотипические отличия между этими видами в строении колосьев, конечно же, очевидны, а, как указывал В.М. Медников (1989), полная гомология определяется одинаковым или близким фенотипическим эффектом (рисунок 4). Поэтому *T.persicum* не может в полной мере считаться гомологом *T.militinae*, потому что, несмотря на свой такой же статус голозёрной формы, внешне он существенно отличается

от последней. К тому же происхождение *T.persicum* связывают с мягкой пшеницей (Культурная флора СССР, т. 1. Пшеница, 1979). В то время как *T.militinae* был выделен из коллекционного образца *T. timopheevii*, равно как и диплоидная голозёрная *T.sinskajae*, была обнаружена А.А. Филатенко и У.К. Куркиевым в образце *T. monosocum* (К-20970) (Пшеницы мира, 1987).



Рисунок 4 – Колосья, колоски и зерновки *T.militinae* A^bG и *T. persicum* A^uB

Figure 4 – Spikes, spikelets and grains of *T. militinae* and *T. persicum* AbG AuB

Совместное рассмотрение представителей диплоидных и тетраплоидных видообразцов обеих филогенетических ветвей пшеницы позволяет утверждать, что независимо от уровня пloidности и разнокачественного геномного состава, просматриваются закономерности преобразования колосьев от диких ломкоколосых к плёнчатым и голозёрным. Это, в принципе, соблюдается при систематизации видов, что отражено в научном труде, изданном под редакцией В.Ф. Дорофеева (Пшеницы мира, 1987).

По-видимому, у тетраплоидных представителей A^uB, согласно закону гомологических рядов, должна быть голозёрная форма гомологичная *T.militinae* A^bG (таблица).

Таблица – Закономерности макроэволюционных преобразований колосьев у видов пшеницы на ди- и тетраплоидном уровне

Table – Macro-developmental patterns transformations of the ears of wheat on di - and tetraploid level			
Видообразцы пшеницы / Species of wheat			
Ломкоколосые Narrow-shouldered	Плёнчатые Filmy	Голозёрные Naked	
Диплоиды (2n=14) / Diploids (2n=14)			
<i>T. boeoticum</i> A ^b , <i>T. urartu</i> A ^u	<i>T. monococcum</i> A ^b -	<i>T. sinskajae</i> A ^b -	
Тетраплоиды A ^b G (2n=28) / Tetraploids A ^b G (2n=28)			
<i>T. araraticum</i>	<i>T. timopheevii</i>	<i>T. militinae</i>	X
Тетраплоиды A ^u B (2n=28) / Tetraploids A ^u B (2n=28)			
<i>T. dicococcoides</i> -	<i>T.dicocum</i> <i>T. karamyshevii</i>	X -	<i>T. persicum</i> -

С другой стороны, нельзя, вероятно, исключать и появление у представителей второй филогенетической ветви A^bG и гомологичной *T.persicum* форме. Тем более, что о создании полного гомолога мягкой пшеницы уже заявлялось [8].

Следовательно, опираясь на закон гомологических рядов наследственной изменчивости, можно ожидать появление такого же плотноколосого голозёрного гомолога *T.militinae* A^bG у представителей A^uB и, скорее всего, он будет получен из полбяных культур типа *T.dicoccum*.

Заключение. Закономерные макроэволюционные преобразования колосьев у ди- и тетраплоидных видов пшеницы, в соответствующих гомологических рядах позволяют предположить возможность появления у полбяных видов A^uA^uBB , плотноколосого голозёрного гомолога фенотипически сходного с *T.militinae*.

Библиографический список

1. Биологические и экономические характеристики аллотетраплоида с геномной формулой $DDAuAu$ из семейства злаковых / К. У. Куркиев., И. Г. Адонина, М. К. Гаджимагомедова, Л. В. Щукина, Т. А. Пшеничникова // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. №23 (6). С. 746-752. DOI: 10.18699/VJ19.549.
2. Влияние геномов на фенотипы синтезированных видов полиплоидной пшеницы / Б. В. Романов, К. И. Пимонов, И. Ю. Сорокина, Г. А. Козлечков, С. В. Пасько // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 2. С. 27-30.
3. Волкова Г. В., Кудинова О. А., Вагонова О. Ф. Скрининг LR-генов пшеницы на устойчивость к *ruscicia tritiscina* в условиях Северо-Кавказского региона. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 5. С. 54-56.
4. Генетическое разнообразие и селекционная ценность синтетической гексаплоидной пшеницы, привлеченной в коллекцию ВИР / А. Г. Хакимова, Н. К. Губарева, В. А. Кошкин, Митрофанова О.П. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. №23(6). С. 738-745. DOI 10.18699/VJ19.548.
5. Иванченко Т. В., Игольникова И. С. Влияние регуляторов роста на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 101-108.
6. Иванченко Т. В., Резанова Г. И., Игольникова И. С. Значение пестицидов в посевах озимой пшеницы и применение их в интегрированной системе защиты растений в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3 (43). С. 72-79.
7. Лёвкина К. В., Михальчёва Е. А. Продуктивность сортов озимой твердой пшеницы на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 158-165.
8. Романов Б. В., Пимонов К. И. Продукционные характеристики *Triticum Petropavlovskiy* и её спонтанных макромутантов. Зерновое хозяйство России. 2019. №4. С. 50-53. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-50-53>
9. Романов Б. В., Пимонов К. И. Феномономика продукционных признаков видов пшеницы: монография. Персиановский: Донской ГАУ. 2018. 188 с.
10. Селекция озимой пшеницы в Центральном Черноземье РФ // Г.Г. Голева, Т.Г. Ващенко, Н.Т. Павлюк, В.В. Знаменская, и др./ Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 1. С. 45-49.
11. Сравнительная оценка продуктивности сортов озимой твердой пшеницы на светло-каштановых почвах Волгоградской области // В. В. Балашов, В. Н. Лёвкин, К. В. Лёвкина, С. С. Полторынкин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3 (47). С. 21-30.
12. Genetic stability in synthetic wheat accessions: cytogenetic evaluation as a support in breeding programs / P. Frizon, S. P. Brammer, M.I.P.M. Lima, R. L. de Castro, C. C. Deuner // *Ciência Rural*. 2017. №47(4). P. 1-7. DOI 10.1590/0103-8478cr20160314.

13. <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-pshenicy-v-rossii-itogi-2018-goda>. Дата захода 15.11.2019.
14. Synthetic hexaploid wheat: yesterday, today, and tomorrow / A. Li, D. Liu, W. Yang, M. Kishii, L. Mao // Engineering. 2018. №4. P. 552-558. DOI 10.1016/j.eng.2018.07.001.
15. The importance of reproductive barriers and the effect of allopolyploidization on crop breeding / K. Tonosaki, K. Osabe, T. Kawanabe, R. Fujimoto // Breed. Sci. 2016. №66. P. 333-349. DOI 10.1270/jsbbs.15114.

Reference

1. Biologicheskie i jekonomicheskie harakteristiki allotetraploida s genomnoj formuloj DDAAuAu iz semejstva zlakovyh. / K. U. Kurkiev., I. G. Adonina, M. K. Gadzhimagomedova, L. V. Schukina, T. A. Pshenichnikova // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. №23 (6). P. 746-752. DOI 10.18699/VJ19.549.
2. Vliyanie genomov na fenotipy sintezirovannyh vidov poliploidnoj pshenicy / B. V. Romanov, K. I. Pimonov, I. Yu. Sorokina, G. A. Kozlechkov, S. V. Pas'ko // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2018. № 2. P. 27-30.
3. Volkova G. V., Kudina O. A., Vagonova O. F. Skringing LR-genov pshenicy na ustojchivost' k puccinia triticea v usloviyah Severo-Kavkazskogo regiona. Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2019. № 5. P. 54-56.
4. Geneticheskoe raznoobrazie i selekcionnaya cennost' sinteticheskoy geksaploidnoj pshenicy, privlechennoj v kollekciju VIR / A. G. Hakimova, N. K. Gubareva, V. A. Koshkin, Mitrofanova O. P. // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. №23(6). P. 738-745. DOI 10.18699/VJ19.548.
5. Ivanchenko T. V., Igol'nikova I. C. Vliyanie reguljatorov rosta na produktivnost' i kachestvo zerna ozimoj pshenicy v usloviyah Nizhnego Povolzh'ya // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa : nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 1 (49). P. 101-108.
6. Ivanchenko T. V., Rezanova G. I., Igol'nikova I. C. Znachenie pesticidov v posevah ozimoj pshenicy i primenenie ih v integrirovannoj sisteme zaschity rastenij v suhostepnoj zone Nizhnego Povolzh'ya // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2016. № 3 (43). P. 72-79.
7. Ljovkina K. V., Mihal'chjova E. A. Produktivnost' sortov ozimoj tverdoj pshenicy na svetlo-kashtanovyh pochvah Volgogradskoj oblasti // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 3 (51). P. 158-165.
8. Romanov B. V., Pimonov K. I. Produkcijnye harakteristiki Triticum Petropavlovskij i ejo spontannyh makromutantov. Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2019. №4. P. 50-53. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-50-53>
9. Romanov B. V., Pimonov K. I. Fenomogenomika produkcionnyh priznakov vidov pshenicy: monografiya. Persianovskij: Donskoj GAU. 2018. 188 p.
10. Selekcija ozimoj pshenicy v Central'nom Chernozem'e RF // G. G. Goleva, T. G. Vaschenko, N. T. Pavlyuk, V. V. Znamenskaya, i dr. / Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2019. № 1. P. 45-49.
11. Sravnitel'naya ocenka produktivnosti sortov ozimoj tverdoj pshenicy na svetlo-kashtanovyh pochvah Volgogradskoj oblasti // V. V. Balashov, V. N. Ljovkin, K. V. Ljovkina, S. S. Poltorynkin // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa : nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2017. № 3 (47). P. 21-30.
12. Genetic stability in synthetic wheat accessions: cytogenetic evaluation as a support in breeding programs / P. Frizon, S. P. Brammer, M.I.P.M. Lima, R. L. de Castro, C. C. Deuner // Ciênc. Rural. 2017. №47(4). P. 1-7. DOI 10.1590/0103-8478cr20160314.
13. <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-pshenicy-v-rossii-itogi-2018-goda>. Дата захода 15.11.2019.
14. Synthetic hexaploid wheat: yesterday, today, and tomorrow / A. Li, D. Liu, W. Yang, M. Kishii, L. Mao // Engineering. 2018. №4. P. 552-558. DOI 10.1016/j.eng.2018.07.001.
15. The importance of reproductive barriers and the effect of allopolyploidization on crop breeding / K. Tonosaki, K. Osabe, T. Kawanabe, R. Fujimoto // Breed. Sci. 2016. №66. P. 333-349. DOI 10.1270/jsbbs.15114.

Информация об авторах

Романов Борис Васильевич, старший научный сотрудник лаборатории селекции и генетики сельскохозяйственных растений ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (РФ, 346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1), кандидат биологических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0701-1584>, тел.: +79381556901, e-mail: triticumrbw@mail.ru

Пимонов Константин Игоревич, профессор кафедры «Растениеводство и садоводство», ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (РФ, 346493, Ростовская обл., Октябрьский район, п. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0726-2583>, тел.: +79298203425, e-mail: Konst.pimonov@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 631.51:631.4:631.8

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-14

**ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА СОДЕРЖАНИЕ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И АГРОФИЗИЧЕСКИЕ
ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ**

**ASSESSMENT OF THE EFFECT OF ENERGYSAVING PRIMARY
TILLAGE TECHNOLOGIES ON ORGANIC MATTER CONTENT
AND AGROPHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL**

С. В. Щукин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Е. А. Горнич, старший преподаватель

А. М. Труфанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

А. Н. Воронин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

S. V. Shchukin, E. A. Gornich, A. M. Trufanov, A. N. Voronin

ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия»

*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Yaroslavl State Agricultural Academy»*

Дата поступления в редакцию 23.10.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received 23.10.2019

Submitted 20.12.2019

Представлены опытные данные за период с 2015 по 2017 гг. по влиянию разных по интенсивности систем обработки почвы, удобрений и гербицидов на содержание органического вещества, агрофизические свойства дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и урожайность полевых культур. Установлено, что применение систем энергосберегающей обработки (STL, SP, ST) способствует достоверному увеличению содержания органического вещества на 0,14-0,16 п.п. в верхнем слое в сравнении с системой отвальной обработки (MP). При этом отсутствие обработки на глубине 15, 20 и 25 см на вариантах с поверхностной с рыхлением (STL), поверхностно-отвальной (SP) и поверхностной (ST) обуславливало увеличение значений сопротивления пенетрации почвы на 0,49-2,41 кг/см². Проведение ежегодной поверхностной обработки (ST) способствовало снижению коэффициента структурности почвы в верхнем слое (0-10 см) на 0,17 единиц. Использование SNPK вело к формированию наибольших значений по содержанию органического вещества в почве – 3,13%. Внесение SNPK и NPK способствовало достоверному увеличению доли водоустойчивых агрегатов в слое 10-20 см на 1,35-1,42 п.п. Применение поверхностно-отвальной обработки (SP) по фону удобрений SNPK обеспечивает формирование урожайности ячменя на уровне 27,4 ц/га, однолетних трав – 461,66 ц/га и яровой пшеницы – 28,15 ц/га и способствует увеличению чистого энергетического дохода: в посевах ячменя на 20,09 ГДж/га, однолетних трав на 45,91 ГДж/га, яровой пшеницы на 6,69 ГДж/га.

The article presents experimental data for the period from 2015 to 2017 according to the influence of different tillage systems, fertilizers and herbicides on the content of organic matter, agrophysical properties of soddy-podzolic and middle loamy soils and crop yields. It has been established that the use of energy-saving tillage (STL, SP, ST) contributes to a significant increase in the content of organic matter by 0,14-0,16 percentage points in the upper layer in comparison with the moldboard plowing (MP). In this case, the absence of treatment at a depth of 15, 20 and 25 cm on the options with surface treatment with deep loosening (STL), surface-ploughing treatment (SP) and surface treatment (ST) led to an increase in the values of soil penetration resistance by 0,49-2,41 kg /cm². Carrying out surface treatment (ST) contributed to a decrease in the coefficient of soil structure in the upper layer (0-10 cm) by 0,17 units. The use of straw together with complete mineral fertilizer (SNPK) led to the formation of the highest values for the content of organic matter in the soil – 3,13%. The introduction of SNPK and NPK contributed to a significant increase in the proportion of water-resistant soil aggregates in the 10-20 cm layer by 1,35-1,42 percentage points. Applying surface-ploughing treatment (SP) and SNPK leads to optimization agrophysical soil properties and provides yields of barley at 27,4 c/ha, annual grasses – 461,66 c/ha and spring wheat – 28,15 c/ha and contributes to an increase in net energy income: in barley crops by 20,09 GJ/ha, annual herbs by 45,91 GJ/ha, spring wheat by 6,69 GJ/ha.

Ключевые слова: системы обработки почвы, системы удобрения, структура почвы, плотность почвы, твердость (сопротивление пенетрации) почвы, урожайность.

Key words: tillage systems, fertilizer systems, soil structure, soil bulk density, soil penetration resistance, crop yields.

Цитирование. Щукин С. В., Горнич Е. А., Труфанов А. М., Воронин А. Н. Оценка действия энергосберегающих технологий основной обработки почвы на содержание органического вещества и агрофизические показатели плодородия. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 119-126. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-14.

Citation. Shchukin S. V., Gornich E. A., Trufanov A. M., Voronin A. N. Assessment of the effect of energysaving primary tillage technologies on organic matter content and agrophysical properties of the soil. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 119-126 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-14.

Введение. Энергосберегающие технологии являются важным элементом эффективного производственного процесса, что во многом определяет направленность научно-исследовательской работы, в том числе и в сельском хозяйстве. Вместе с тем нужно четко разграничить условия, формирующие долгосрочный и краткосрочный энергосберегающий эффект. И главное – это общая результирующая данных эффектов.

Минимизация основной обработки почвы уже длительное время рассматривается как элемент энергосберегающих технологий, т.к. сопровождается снижением затратных статей [4], а также способствует сокращению темпов минерализации органического вещества почвы [7-9] и перераспределению его содержания в пахотном слое [3], стабилизации структуры почвы [2, 10]. Но если рассматривать этот вопрос линейно с позиции сокращения и упрощения, то можно столкнуться с проблемами увеличения засоренности [6, 12], плотности и твердости почвы [3, 5, 11]. В данном аспекте минимизация основной обработки уже не может восприниматься как энергосберегающая, т.к. кратковременный ресурсосберегающий эффект может перекрываться затратами на дополнительную борьбу с вредными организмами, удобрения, обработку и т.д. В связи с этим наиболее полная оценка действия энергосберегающих технологий может быть проведена только в условиях многолетнего стационарного опыта, где изучаемые технологии уже вошли в режим.

Материалы и методы. Экспериментальная работа была выполнена в 2015-2017 гг. в полевом трёхфакторном опыте, заложенном на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, характеризующейся временным избыточным увлажнением.

Схема опыта: *Фактор А. Система основной обработки почвы.* 1. Отвальная (MP): дисковая обработка на 8-10 см и ежегодная вспашка на 20-22 см; 2. Поверхностная с глубоким рыхлением (STL): дисковая обработка на 8-10 см и безотвальное рыхление на 25-27 см 1 раз в 4-5 лет в сочетании с поверхностной дисковой обработкой на 6-8 см в остальные 3-4 года. 3. Комбинированная (поверхностно-отвальная) (SP): дисковая обработка на 8-10 см и вспашка на 20-22 см 1 раз в 4-5 лет в сочетании с дисковой обработкой на 6-8 см в остальные 3-4 года; 4. Поверхностная (ST): ежегодная поверхностная дисковая обработка на 6-8 см.

Фактор В. Система удобрений. 1. Без внесения удобрений (F0); 2. N₃₀ (N); 3. Солома (S); 4. Солома + N₃₀ (SN); 5. Солома + NPK (SNPK); 6. NPK (NPK).

Фактор С. Система защиты растений от сорняков. 1. Без гербицидов (G0); 2. С гербицидами (WG): в 2015 году применялся гербицид Линтур, в норме 0,15 кг/га. В 2016 и 2017 гг. изучалось последствие гербицидов [1].

Результаты. В среднем за период исследований (2015-2017 гг.) применение энергосберегающей обработки (STL, SP, ST) способствует достоверному увеличению содержания органического вещества на 0,14-0,16 п.п. в верхнем слое в сравнении с системой отвальной обработки (MP) (рисунок 1). Внесение удобрений обуславливает увеличение содержания органического вещества в пахотном слое за счет более высокой урожайности и выхода пожнивно-корневых остатков. Наибольшие значения изучаемого показателя были свойственны варианту SNPK – 3,13 %.

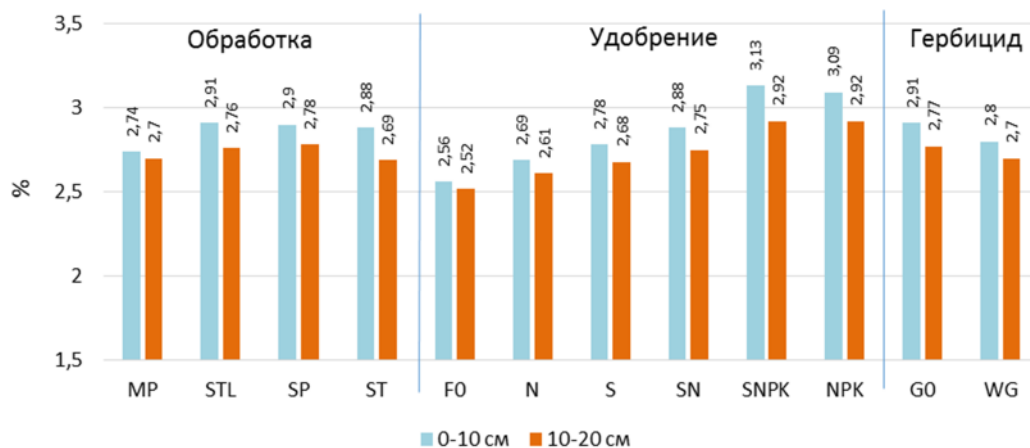


Рисунок 1 – Содержание органического вещества в почве (в среднем по факторам и за период 2015-2017 гг.)

Figure 1 – The content of organic matter in the soil (% , on average by factors for the period 2015-2017)

Применение гербицида в 2015 и последствие его в 2016 и 2017 гг. вело к существенному снижению содержания органического вещества как в верхнем, так и в нижнем слое пахотного горизонта на 0,11 и 0,07 п.п. соответственно. Данная динамика связана с уменьшением поступления в почву остатков сорных растений.

Коэффициент структурности почвы за время исследований 2015-2017 гг. снижался в верхнем слое почвы на 0,17 при применении ежегодной поверхностной обработки почвы (ST) (таблица 1). Применение комбинированной (поверхностно-

отвальной) (SP) обработки способствовало формированию значений изучаемого показателя на уровне системы отвальной обработки (MP). Внесение удобрений не оказало существенного влияния на изменение структурно-агрегатного состава почвы. Отмечалась лишь тенденция увеличения коэффициента структурности при внесении одной соломы (S).

Таблица 1 – Агрофизические показатели плодородия почвы (в среднем по факторам и за период исследований 2015-2017 гг.)

Table 1 – Agrophysical properties of the soil (average by factors for the period of studies 2015-2017)

Вариант	Коэффициент структурности почвы			Водоустойчивость почвы, %			Плотность почвы, г/см ³		
	слой почвы, см								
	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20
Система основной обработки почвы/ Primary tillage system									
MP	2,17	2,27	2,21	53,88	55,51	55,40	1,23	1,24	1,24
STL	2,22	2,20	2,19	56,79	57,92	57,27	1,20	1,20	1,20
SP	2,26	2,16	2,21	55,34	57,34	56,16	1,21	1,22	1,22
ST	2,00	2,17	2,08	58,00	56,81	57,29	1,23	1,20	1,22
HCP ₀₅	0,17	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅
Система удобрения / Fertilizer system									
F0	2,08	2,19	2,12	54,86	55,45	54,71	1,23	1,23	1,23
N	2,16	2,15	2,15	55,47	57,92	57,02	1,24	1,24	1,24
S	2,25	2,42	2,33	56,27	58,24	56,87	1,21	1,21	1,21
SN	2,24	2,18	2,20	55,33	56,08	55,89	1,22	1,21	1,22
SNPK	2,07	2,13	2,09	56,48	56,80	57,32	1,21	1,21	1,21
NPK	2,20	2,13	2,16	57,60	56,87	57,37	1,21	1,21	1,21
HCP ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	1,28	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	0,02
Система защиты растений от сорняков/ Weed control system									
G0	2,19	2,19	2,18	55,93	57,23	56,84	1,21	1,22	1,22
WG	2,14	2,22	2,17	56,07	56,56	56,23	1,23	1,22	1,22
HCP ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅

Водоустойчивость почвы при применении систем энергосберегающей обработки характеризовалась тенденцией увеличения по всем изучаемым слоям. Системы удобрения SNPK и NPK способствовали достоверному росту доли водоустойчивых агрегатов в слое 10-20 см на 1,35-1,42 п.п. Изучаемые системы защиты растений не влияли на изменение водоустойчивости почвы.

В течение исследований установлена средняя прямая отрицательная связь между плотностью и содержанием органического вещества в почве ($y = -0,0489x + 1,3552$; $r^2 = 0,43$; $r^2 = 0,1817$).

В посевах ячменя (2015 г.) и однолетних трав (2016 г.) плотность почвы была оптимальной для роста и развития культур – 0,99-1,3 и 1,00-1,27 г/см³ соответственно. В посевах яровой пшеницы динамика плотности почвы выходила за пределы оптимальных значений – 1,29-1,53 г/см³. Изучаемые системы основной обработки почвы незначительно влияли на изменения плотности почвы. Внесение одной соломы (S), а также полной нормы минеральных удобрений на вариантах SNPK и NPK способствовало снижению плотности почвы.

Значения твердости почвы в течение исследований увеличивались по мере углубления штока пенетрометра (рисунок 2).

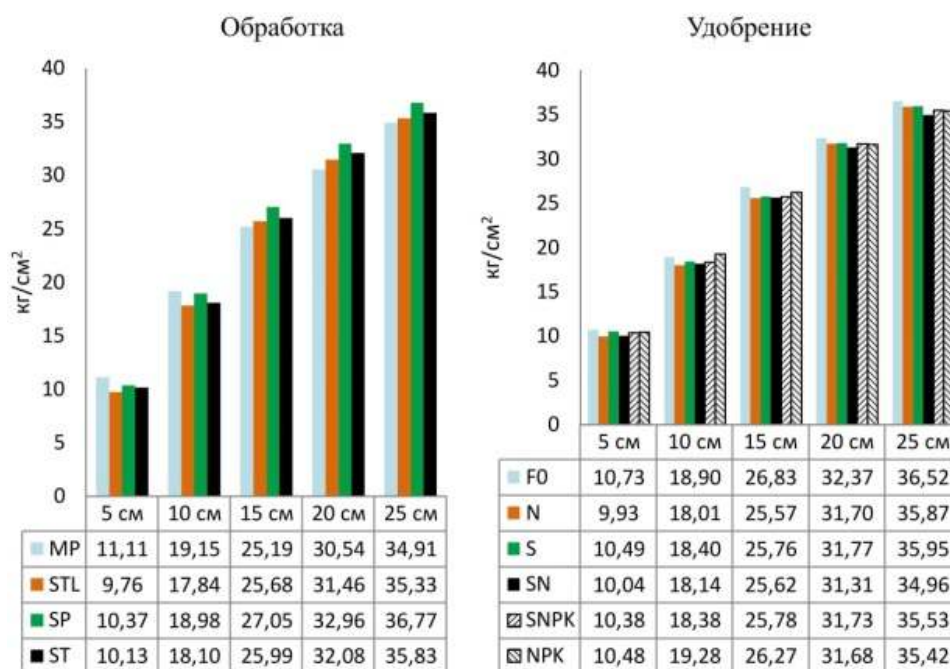


Рисунок 2 – Твёрдость почвы (в среднем по факторам за период 2015-2017 гг.)

Figure 2 – Soil penetration resistance (average by factors for the period 2015-2017)

Системы энергосберегающей обработки (STL, SP, ST) на глубине 5 и 10 см обуславливали незначительное снижение твердости почвы на 0,18-1,36 кг/см². Отсутствие механического воздействия на глубине 15, 20 и 25 см способствовало увеличению значений сопротивления пенетрации почвы на 0,49-2,41 кг/см² [1].

Внесение удобрений начиная с глубины 15 см вело к некоторому снижению значений твердости почвы на 0,56-1,26 кг/см², что может быть связано с показателем влажности.

Применение комбинированной (поверхностно-отвальной) (SP) и поверхностной (ST) обработок почвы способствовало достоверному увеличению урожайности ячменя на 2,62 и 2,02 ц/га соответственно (таблица 2).

Внесение удобрений, и особенно SNPK и NPK, вело к увеличению урожайности ячменя на 8,50-8,89 ц/га, зеленой массы вико-овсяной смеси на 16,96-39,67 ц/га и яровой пшеницы на 8,18-8,89 ц/га.

Применение гербицида Линтур в 2015 г. обуславливало достоверное увеличение урожайности ячменя на 2,53 ц/га. Последствие гербицида характеризовалось несущественным увеличением урожайности однолетних трав и яровой пшеницы.

Технология производства полевых культур, базирующаяся на поверхностно-отвальной обработке (SP) по фону SNPK с гербицидами и их последствием, обеспечивает формирование урожайности ячменя на уровне 27,4 ц/га, однолетних трав – 461,66 ц/га и яровой пшеницы – 28,15 ц/га.

Наименее энергозатратной за период исследований можно считать комбинированную (поверхностно-отвальную) обработку (SP), использование которой позволило сэкономить в 2015 году 6,08 ГДж/га, в 2016 – 3,37...22,3 ГДж/га, в 2017 – 0,2...7,3 ГДж/га совокупной энергии.

В отличие от традиционной отвальной обработки (MP) применение комбинированной (поверхностно-отвальной) обработки (SP) по фону удобрений SNPK способствует увеличению чистого энергетического дохода: в посевах ячменя на 20,09 ГДж/га, однолетних трав – 45,91 ГДж/га, яровой пшеницы – 6,69 ГДж/га.

Таблица 2 – Урожайность полевых культур в среднем по изучаемым факторам
с 2015 по 2017 гг., ц/га

Table 2 – The yield of field crops on average in the studied factors from 2015 to 2017, c/ha

Вариант	Ячмень, 2015	Однолетние травы, 2016	Яровая пшеница, 2017
Система основной обработки почвы/ Primary tillage system			
MP	17,44	348,6	21,28
STL	18,32	349,06	23,18
SP	20,08	349,68	23,32
ST	19,46	341,58	22,76
HCP ₀₅	1,46	F _Ф <F ₀₅	F _Ф <F ₀₅
Система удобрения/ Fertilizer system			
F0	14,53	328,48	17,37
N	16,69	323,57	23,27
S	17,23	359,98	22,11
SN	18,04	357,75	21,25
SNPK	23,42	368,15	25,55
NPK	23,03	345,44	26,26
HCP ₀₅	1,98	28,99	2,85
Система защиты растений от сорняков/ Weed control system			
G0	17,56	340,59	22,24
WG	20,09	353,87	23,03
HCP ₀₅	1,11	F _Ф <F ₀₅	F _Ф <F ₀₅

Заключение. Для дерново-среднеподзолистой глееватой среднесуглинистой почвы в качестве основной рекомендуется применение комбинированной (поверхностно-отвальной) обработки (SP) по фону SNPK. Данная технология обеспечивает наибольшее содержание органического вещества в почве и способствует оптимизации ее агрофизического состояния. При этом урожайность ячменя была на уровне 27,4 ц/га, однолетних трав – 461,66 ц/га и яровой пшеницы – 28,15 ц/га, что способствует к увеличению чистого энергетического дохода: в посевах ячменя на 20,09 ГДж/га, однолетних трав – 45,91 ГДж/га, яровой пшеницы – 6,69 ГДж/га.

Библиографический список

1. Влияние разных систем обработки и удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы / М. А. Мазиров, Н. С. Матюк, В. Д. Полин, Н. В. Малахов // Земледелие. 2018. № 2. С. 33-36.
2. Водоустойчивость макроструктуры дерново-подзолистой глееватой почвы при минимизации обработки / Р. Е. Казнин, С. В. Щукин, С. С. Сивкова, Б. А. Смирнов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. №4(90). С. 24-28.
3. Кураченко Н. Л., Картавых А. А. Агрофизическое состояние черноземов Красноярской лесостепи в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки // Земледелие. 2017. № 2. С. 17-19.
4. Продуктивность культур севооборота в зависимости от различных технологий / Т. П. Сабирова, С. В. Щукин, Р. А. Сабиров, И. М. Соколов, Г. К. Ошкина, А. А. Паюта, А. А. Богданова // Кормопроизводство. 2018. № 12. С. 23-25.
5. Пыхтин И. Г. Обработка почвы: действительность и мифы // Земледелие. 2017. № 1. С. 33-36.

6. Синещев В. Е., Васильева Н. В. Засоренность зерновых агроценозов при минимизации основной обработки почвы в лесостепи Приобья // Вестник Новосибирского ГАУ. 2017. № 4 (45). С. 32-40.

7. Труфанов А. М., Смирнов Б. А., Щукин С. В. Биологические свойства дерново-подзолистой глееватой почвы и урожайность полевых культур при различных системах обработки, удобрений и гербицидов // Известия ТСХА. 2013. №2. С. 21-33.

8. Long-term variations in soil organic matter under different tillage intensities / G. Valboa, A. Lagomarsino, G. Brandi, A. E. Agnelli, S. Simoncini, R. Papini N. Vignozzi, S. Pellegrini // Soil and Tillage Research. 2015. Vol. 154. P. 126-135.

9. Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions / D. Cillis, B. Maestrini, A. Pezzuolo, F. Marinello, L. Sartori // Soil and Tillage Research. 2018. Vol. 183. P. 51-59.

10. Nouwakpoa S. K., Songb J., Gonzalez J. M. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems // Soil and Tillage Research. 2018. Vol. 178. P. 65-71.

11. Soil CO₂ emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations / Bruna de Oliveira Silva, Mara Regina Moitinho, Gustavo André de Araújo Santos, Daniel De Bortoli Teixeira, Carolina Fernandes, Newton La Scala // Soil and Tillage Research. 2016. Vol. 222. P. 275-285.

12. Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective / L. Armengot, J. M. Blanco-Moreno, P. Bàrberi, G. Bocci, S. Carlesi, R. Aendekerk, A. Berner, F. Celette, M. Grosse, H. Huiting, A. Kranzler, A. Luik, P. Mäder, J. Peigné, E. Stoll, P. Delfosse, W. S. Kel, A. Surböck, F. X. Sans // Soil and Tillage Research. 2016. Vol. 222. P. 275-285.

Reference

1. Vliyanie raznyh sistem obrabotki i udobrenij na plodorodie dernovo-podzolistoj pochvy / M. A. Mazirov, N. S. Matyuk, V. D. Polin, N. V. Malahov // Zemledelie. 2018. № 2. P. 33-36.

2. Vodoustojchivost' makrostruktury dernovo-podzolistoj gleevatoj pochvy pri minimizacii obrabotki / R. E. Kaznin, S. V. Schukin, S. S. Sivkova, B. A. Smirnov // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. №4(90). P. 24-28.

3. Kurachenko N. L., Kartavyh A. A. Agrofizicheskoe sostoyanie chernozemov Krasnoyarskoj lesostepi v usloviyah resursosberegayuschih tehnologij osnovnoj obrabotki // Zemledelie. 2017. № 2. P. 17-19.

4. Produktivnost' kul'tur sevooborota v zavisimosti ot razlichnyh tehnologij / T. P. Sabirova, S. V. Schukin, R. A. Sabirov, I. M. Sokolov, G. K. Oshkina, A. A. Payuta, A. A. Bogdanova // Kormoproizvodstvo. 2018. № 12. P. 23-25.

5. Pyhtin I. G. Obrabotka pochvy: dejstvitel'nost' i mify // Zemledelie. 2017. № 1. P. 33-36.

6. Sineschekov V. E., Vasil'eva N. V. Zasorennost' zernovyh agrocenozov pri minimizacii osnovnoj obrabotki pochvy v lesostepi Priob'ya // Vestnik Novosibirskogo GAU. 2017. № 4 (45). P. 32-40.

7. Trufanov A. M., Smirnov B. A., Schukin S. V. Biologicheskie svojstva dernovo-podzolistoj gleevatoj pochvy i urozhajnost' polevyh kul'tur pri razlichnyh sistemah obrabotki, udobrenij i gerbi-cidov // Izvestiya TSXA. 2013. №2. P. 21-33.

8. Long-term variations in soil organic matter under different tillage intensities / G. Valboa, A. Lagomarsino, G. Brandi, A. E. Agnelli, S. Simoncini, R. Papini N. Vignozzi, S. Pellegrini // Soil and Tillage Research. 2015. Vol. 154. P. 126-135.

9. Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions / D. Cillis, B. Maestrini, A. Pezzuolo, F. Marinello, L. Sartori // Soil and Tillage Research. 2018. Vol. 183. P. 51-59.

10. Nouwakpoa S. K., Songb J., Gonzalez J. M. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems // Soil and Tillage Research. 2018. Vol. 178. P. 65-71.

11. Soil CO₂ emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations / Bruna de Oliveira Silva, Mara Regina Moitinho, Gustavo André de Araújo Santos, Daniel De Bortoli Teixeira, Carolina Fernandes, Newton La Scala // Soil and Tillage Research. 2016. Vol. 222. P. 275-285.

12. Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective / L. Armengot, J. M. Blanco-Moreno, P. Bàrberi, G. Bocci, S. Carlesi, R. Aendekerk, A. Berner, F. Celette, M. Grosse, H. Huiting, A. Kranzler, A. Luik, P. Mäder, J. Peigné, E. Stoll, P. Delfosse, W. S. Kel, A. Surböck, F. X. Sans // Soil and Tillage Research. 2016. Vol. 222. P. 275-285.

Информация об авторах

Щукин Сергей Владимирович, доцент кафедры «Агрономия» ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА (РФ, 150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д.58), кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9718-9273> s.shhukin@yarcx.ru

Горнич Екатерина Андреевна, старший преподаватель кафедры «Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА (РФ, 150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д.58)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3992-7386> gornich@yarcx.ru

Труфанов Александр Михайлович, заведующий кафедрой «Агрономия» ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА (РФ, 150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д.58), кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8815-2441> a.trufanov@yarcx.ru

Воронин Александр Николаевич, доцент кафедры «Агрономия» ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА (РФ, 150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д.58), кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9924-9142> voronin@yarcx.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

УДК 636.2.064:636.2.034

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-15

ИНТЕНСИВНОСТЬ РОСТА И РАЗВИТИЯ МОЛОДНЯКА ГОЛШТИНСКОГО СКОТА В СВЯЗИ С УРОВНЕМ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ МАТЕРЕЙ

THE INTENSITY OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF YOUNG HOLSTEIN CATTLE IN CONNECTION WITH THE LEVEL OF MOTHER'S MILK PRODUCTIVITY

Г. Г. Карликова, доктор сельскохозяйственных наук

А. Ф. Контэ, кандидат сельскохозяйственных наук

G. G. Karlikova, A. F. Conte

ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства –
ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста»

*Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Livestock –
All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst»*

Дата поступления в редакцию 05.10.2019
Received 05.10.2019

Дата принятия к печати 11.12.2019
Submitted 11.12.2019

В статье рассмотрена взаимосвязь интенсивности роста и развития молодняка с уровнем молочной продуктивности высокопродуктивных коров в течение первых 200 дней лактации на коровах голштинской породы. Работы экспериментального и аналитического характера проходят на коровах и телочках голштинской породы в ЗАО СП «Аксиньино» Ступинского района Московской области на фоне кормления, принятого в хозяйстве. Отобраны 3 группы коров с разностью в уровне продуктивности за предыдущую законченную лактацию на 1500 кг молока. Первая группа – до 7500 кг, 2 – 7500-9000 кг и 3 группа – 9000 и выше кг. От отелившихся коров отобраны группы новорожденных телочек. Средняя продуктивность по предыдущей лактации в 1 группе – 7227 кг молока, во 2 – 8149 кг ($P \leq 0,001$), в 3 группе – 9273 кг ($P \leq 0,001$). Массовая доля жира у коров 3 группы – 4,05 % ($P \leq 0,01$). Массовой доли белка в 3 группе – 3,17 % ($P \leq 0,01$). Удой за 200 дней в 1 группе – 5873 кг, во 2 – 6501, в 3 – 7392 кг молока ($P \leq 0,01$). Количество молочного жира в 3 группе 303 кг ($P \leq 0,01$). Выход молочного белка в 3 группе – 230 кг ($P \leq 0,001$). В 1 месяц после рождения телочки 2 группы 62 кг ($P \leq 0,01$), 1 и 3 групп – 55 и 60 кг. На 2 месяце выращивания вес телочек 3 группы – 76 кг ($P \leq 0,10$), 2 группы – 72 ($P \leq 0,10$), 1 группы 66 кг. Среднесуточный прирост телок 3 группы на 6 месяце – 1244 г ($P \leq 0,10$), 2 – 1127 г и 1 – 617 г. Мониторинг роста и развития телок в пределах эксперимента продолжается.

The article considers the relationship between the intensity of growth and development of calves and the level of dairy productivity of highly productive cows during the first 200 days of lactation on cows of Holstein breed. Works of experimental and analytical nature are carried out on cows and calves of Holstein breed in Closed Joint-Stock Company Agricultural Enterprise «Aksinino» of the Stupinsky district of the Moscow region against the background of feeding adopted in the farm. 3 groups of cows were selected with a difference in productivity level for the previous finished lactation per 1500 kg of milk. The first group - up to 7500 kg, 2 - 7500 - 9000 kg and 3 group - 9000 and higher kg. Groups of newborn calves were selected from the heeled cows. Average efficiency on the previous lactation in 1 group - 7227 kg of milk, in 2 - 8149 kg ($P \leq 0,001$), in the 3rd group - 9273 kg ($P \leq 0,001$). Mass fraction of fat at cows 3 groups – 4,05% ($P \leq 0,01$). Mass fraction of protein in the 3rd group – 3,17% ($P \leq 0,101$). Yield of milk in 200 days in 1 group - 5873 kg, in 2 - 6501, in 3 - 7392 kg of milk ($P \leq 0,01$). Milk fat production in the 3rd group of 303 kg ($P \leq 0,01$). Protein yield in the 3rd group - 230 kg ($P \leq 0,001$). In 1 month after the calving of a cow heifers 2 groups of 62 kg ($P \leq 0,01$), 1 and 3 groups - 55 and 60 kg. On the 2nd month of cultivation the weight of heifers is 3 groups - 76 kg ($P \leq 0,10$), 2 groups-72 ($P \leq 0,10$), 1 groups of 66 kg. Average daily gain of heifers 3 groups on the 6th month - 1244 ($P \leq 0,10$), 2 - 1127 g and 1 - 617 g. Monitoring of growth and development of heifers within an experiment continues.

Ключевые слова: коровы, быки-отцы, лактация, удои, качество молока, телки, живая масса телок, среднесуточный привес.

Key words: cow, father bulls, lactation, milk yield, milk quality, calves, live mass, average daily gain, cultivation.

Работа выполняется в рамках государственного задания, шифр темы:
ААА-А18-118021590134-3.

Цитирование. Карликова Г. Г., Конте А. Ф. Интенсивность роста и развития молодняка голштинского скота в связи с уровнем молочной продуктивности матерей. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 127-134. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-15.

Citation. Karlikova G. G., Conte A. F. The intensity of growth and development of young Holstein cattle in connection with the level of mother's milk productivity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 127-134 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-15.

Введение. Одной из основных задач в соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы является совершенствование племенных и продуктивных качеств сельскохозяйственных животных [10].

В настоящее время в хозяйствах стада крупного рогатого скота укомплектованы животными голштинской породы, самой распространенной в мире, имеющей высокий генетический потенциал молочной продуктивности.

Скот голштинской породы черно-пестрой масти, по мнению ряда ученых, имеет наиболее высокие удои, превосходя молочные и комбинированные породы в племенных заводах на 379-3489 кг молока и в племенных репродукторах на 1239-2849 кг [5, 7].

При увеличении производства молока выращиванию телок придается большое значение, так как от этого зависит проявление хозяйственно ценных качеств молочного скота [11].

Развитие организма животного является результатом взаимодействия как наследственной основы, полученной от родителей, так и тех конкретных условий внешней среды, в которых оно протекает [1, 4].

Выращивание ремонтных телок молочных пород считается важным элементом системы разведения и технологии производства молока, так как именно в процессе роста и развития происходит формирование будущей молочной продуктивности, на что указывают многие авторы [5, 8, 12]. Главной целью в процессе выращивания ремонтного молодняка является получение правильно выращенной телки, готовой к отелу в возрасте 23-24 месяца, и компенсация вложенных средств за счет последующего производства молока [6].

Изучение интенсивности роста и его влияния на будущую молочную продуктивность является одним из часто изучаемых вопросов выращивания молочных телок и одним из неоднозначных по результатам и выводам.

Для выращивания ремонтных телок различных пород существуют показатели среднесуточных приростов. Согласно существующим нормам для получения в будущем коров живой массой 500-550 кг среднесуточные приросты при выращивании телок за первые 6 месяцев планируются в пределах 650-700 г, с 13-го до 25 месяца - 450-500 г и далее до 28 месяца - 500-550 г. Очевидно, что для развития современного высокопродуктивного молочного скотоводства такие уровни среднесуточных приростов недостаточны [6].

Интенсивность роста телок должна обеспечивать увеличение живой массы к 12-ти месячному возрасту в 7,5-8 раз, а к 18-ти месячному - в 10-11 раз по сравнению с живой массой при рождении. Живая масса телок при такой интенсивности роста составляет в 12 месяцев 45-50%, а в 18 месяцев - 60-65% от массы полновозрастных коров [5].

Выращивание телок при свободном доступе к объемистым кормам, использовании уровня концентратов в рационах в зависимости от возраста и среднесуточном приросте 750-800 г является важнейшим элементом повышения продуктивности молочного скота [7, 9].

Исследования интенсивности выращивания ремонтных голштинских телок показали, что наиболее оптимальными являются приросты телок в диапазоне 800-900 г, возраст первого плодотворного осеменения – 14-15 месяцев с живой массой 390-430 кг, возраст первого отела – 23-25. При более низких среднесуточных приростах чаще происходят сложные отелы, выбраковка по причине гинекологических заболеваний и низкой молочной продуктивности. У телок с приростами более 900 г перед отелом наблюдаются признаки ожирения и, как следствие, трудные отелы и выбраковка [2, 3].

Изучая исследования, связанные с ростом голштинских телок, необходимо отметить, что как низкие, так и очень высокие (>900 г в сутки) среднесуточные приросты до наступления полового созревания после отела определенно снижали молочную продуктивность за первую лактацию. При этом выращенные на уровне 785-800 г в период от 3 до 11 месячного возраста телки имели за первую лактацию наивысшую молочную продуктивность [6].

Зарубежные исследователи приходят к выводам, что половая зрелость при среднесуточном приросте 900 и выше граммов достигается в возрасте 7 месяцев (в тканях вымени происходит отложение жира), при 680-770 г – в 9 месяцев, при 540 г – в 12 месяцев и при 360 г – в 14 месяцев. Половая зрелость у голштинских телок наступает при достижении живой массы 272-295 кг и является функцией живой массы, а не возраста [13].

Развитие молочной железы телок голштинской породы начинается с 3-х месячного возраста и заканчивается примерно в 9-10 месячном возрасте, когда телки достигают живой массы в 40-50 % от веса взрослой коровы. Рост и развитие железы в этот период опережает в 3,5 раза рост и развитие других органов и систем организма животного. При избытке в рационе животного высокоэнергетических кормов секреторная или продуцирующая молоко ткань в вымени резко сокращается и заменяется отложением жира. После наступления у телок половой зрелости степень их роста и живая масса могут быть отрегулированы уровнем кормления в соответствии с планируемой живой массой при отеле. В течение периода с 3 до 9 месяцев суточный прирост не должен превышать 770 граммов [1].

Цель эксперимента – анализ взаимосвязи интенсивности роста и развития молодняка с уровнем молочной продуктивности высокопродуктивных коров в течение первых 200 дней лактации на коровах голштинской породы.

Для достижения поставленной цели решаются задачи по изучению молочной продуктивности за предыдущий лактационный период, оценке удоя за 200 дней лактации, состава молока, ежемесячной оценке роста молодняка по показателям живой массы и среднесуточного прироста, взаимосвязи молочной продуктивности матерей с показателями роста и развития молодняка.

По результатам продолжающегося эксперимента планируется получить данные о взаимосвязи телосложения, упитанности и физиологического статуса высокопродуктивных опытных животных с разным уровнем молочной продуктивности в течение лактации, оценке дальнейшего роста и развития молодняка, изучить селекционно-генетические параметры показателя здоровья коров в стадах голштинской породы Московской области.

Материалы и методы. Исследования проводятся на коровах голштинской породы.

Работы экспериментального и аналитического характера проходят в ЗАО СП «Аксиньино» Ступинского района Московской области.

Исследования физико-химического состава молока проводятся на базе лаборатории технологий в животноводстве. Физико-химические свойства молока оценены на приборе Bentley 150 Infrared Milk Analyzez (МДЖ, МДБ).

Использована база данных и информация племенного и зоотехнического учета.

Опыт проходит на фоне кормления, принятого в хозяйстве. При составлении рационов используются фактические данные о химическом составе и питательности кормов. В структуре рационов при всех уровнях продуктивности предусмотрено повышение расхода сена, сенажа, силоса и снижение количества концентратов с нарастанием лактации. Во избежание снижения жирности молока концентраты в хозяйстве скармливаются в 3-4 приема. Балансировать рационы высокопродуктивных коров по энергии, питательным и биологически активным веществам планируется комбикормами, БВМД и премиксами, составленными по рекомендуемым ВИЖ рецептам.

По уровню молочной продуктивности за последнюю законченную лактацию отобраны 3 группы коров с разностью в уровне продуктивности на 1500 кг молока. В 1 опытной группе - животные с продуктивностью до 7500 кг молока за предыдущую лактацию, во 2 – 7500 - 9000 кг и 3 группа животных – с продуктивностью 9000 и выше кг молока за лактацию. От отелившихся коров отобраны группы новорожденных телочек. Молочный скот, участвующий в эксперименте, обладает высоким генетическим потенциалом, рост которого обусловлен активным использованием в воспроизводстве стада быков-производителей таких линий, как Вис Бэк Айдиал 1013415, Рефлекшн Соверинг 198998, Монтвик Чифтейн 95679, Пабст Говернер.

Отцы опытных телок-дочерей: Вонторра-М 52651243, Сириус-М 56333331, Девоншир-М 11595028, Гудини-М 11595031 – относятся к линии Вис Бэк Айдиал 1013415.

Линия Рефлекшн Соверинг 198998 включает следующих отцов телочек: Ног Юро - М 51668740, Бобой - М 355080841, ЮХУ 69912694, Калгари-М 52950155, Санни-М 538910877, Никсон-М 747281690, Лайфтери-М 711611018, Голтино-М 354833469.

Проведен сравнительный анализ роста и развития телок голштинской породы, происходящих от коров разного уровня продуктивности. Оценена динамика весового роста телок, рассчитан ежемесячный среднесуточный прирост пока до 8 месяца после рождения, но эксперимент продолжается. Данные обработаны статистическими методами с помощью компьютерных программ (Excel 2007). Для оценки достоверности различий между показателями животных опытных групп использовали t-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Перед постановкой на опыт нами была оценена молочная продуктивность опытных коров за 305 дней предыдущей законченной лактации (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели продуктивности опытных коров за 305 дней предыдущей лактации

Table 1 – Indicators of productivity experienced cows for 305 days of previous lactation

Группа / Group	n	Удой, кг (Milk yield, kg)		МДЖ, % (Fat, %)		МДБ, % (Protein, %)		КУЛ, % (KUL, %)		КУЛ, %	
		M±m	б	M±m	б	M±m	б	M±m	б	M±m	б
1	6	7227±61,4	150,3	4,17±0,05	0,12	3,20±0,03	11,8	93±4,8	11,8	92,8±4,8	11,8
2	14	8149±124,5***	465,9	4,19±0,03	0,12	3,24±0,02	10,2	94±2,7	10,2	93,5±2,7	10,2
3	13	9273±170,8***	615,7	4,05±0,09**	0,33	3,17±0,02**	12,7	85±3,5	12,7	84,7±3,5	12,7

***P≤0,001; **P≤0,01; *P≤0,10

Анализируя данные продуктивности по предыдущей лактации, необходимо отметить, что в 1 опытной группе – животные с продуктивностью 7227 кг молока, во 2 – 8149 кг (P≤0,001), в 3 группе – 9273 кг (P≤0,001) молока за 305 дней лактации.

Массовая доля жира у коров 2 группы составила высокий процент – 4,19. По мере снижения данного показателя группы расположились следующим образом: 1 – 4,17 % и 3 – 4,05 % ($P \leq 0,01$).

Массовая доля белка выше у опытных животных 1 и 2 групп, 3,20 и 3,24 %, соответственно, но недостоверно. Несколько ниже, но достоверно содержание массовой доли белка в 3 группе – 3,17 % ($P \leq 0,01$).

Характеристику лактационной кривой опытных коров по предыдущей лактации оценили по коэффициенту устойчивости лактации (КУЛ). Высокие коэффициенты устойчивости лактации, хотя и недостоверно, сложились в 1 и 2 группах животных – 93 и 94 %. Несколько ниже – 85 % – в 3 опытной группе.

Лактация у опытных коров продолжается, удой за 200 дней в 1 группе составил 5873 кг молока, во 2 – 6501, в 3 группе достоверно самый высокий надой – 7392 кг молока ($P \leq 0,01$) (таблица 2).

Массовая доля жира в молоке коров текущей лактации недостоверно колеблется в пределах от 4,09 до 4,21 %.

Количество молочного жира в 1 группе за 200 дней лактации – 248 кг, во 2 и 3, соответственно, достоверно 267 и 303 кг ($P \leq 0,01$).

Процент массовой доли белка в молоке коров опытных групп недостоверен, но практически одинаков – 3,11 – 3,14 %.

Выход молочного белка за 200 дней лактации в 1 группе составил 183 кг, во 2 – 205 и в 3 – высокодостоверно 230 кг ($P \leq 0,001$).

Таблица 2 – Молочная продуктивность опытных животных за 200 дней лактации

Table 2 – Milk productivity of experimental animals for 200 days of lactation

Группа (Group)	n	Удой, кг (Milk yield, kg)	МДЖ, % (Fat, %)	МЖ, кг (Fat, kg)	МДБ, % (Protein, %)	МБ, кг (Protein, kg)
		M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
1	6	5873+391,6	4,21+0,06	248+18,3	3,12+0,02	183+11,4
2	14	6501+378,3	4,12+0,05	267+14,9	3,14+0,01	205+12,2
3	13	7392+229,8***	4,09+0,06	303+10,7**	3,11+0,01	230+7,0***

*** $P \leq 0,001$; ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,10$

От опытных коров-матерей были отобраны новорожденные телочки, и проведена ежемесячная оценка роста и развития молодняка по показателям живой массы от рождения до 7-месячного возраста (таблица 3).

Вес при рождении телок недостоверно выше был в 1 группе коров – 34 кг против 33 (во 2 группе) и 33 кг (в 3 группе). В среднем по поголовью трех опытных групп также 33 кг. Это несколько ниже рекомендуемых параметров развития телок чернопестрой и голштинской пород для стад с удоем 8000–10 000 кг, разработанных Н.И. Стрекозовым (Россия) и П.С. Хоффманом (США).

В дальнейшем в 1 месяц после рождения телочки 2 группы матерей достоверно весили 62 кг ($P \leq 0,01$), дочери матерей 1 и 3 групп – 55 и 60 кг, что превысило рекомендуемые параметры по России.

На 2 месяце выращивания вес телочек 3 группы достоверно составил 76 кг ($P \leq 0,10$) при рекомендуемых по России 75, 2 группы – 72 ($P \leq 0,10$), 1 группы 66 кг.

Телочки 3 группы коров-матерей на 3 месяц жизни недостоверно достигли 101 кг живого веса, что соответствует параметрам выращивания, 2 группа – 100 и 1 – 95 кг.

На 4 месяце выращивания телки 2 группы весили значительно, но недостоверно выше своих сверстниц – 133 кг. Телочки 3 группы – 128 и 1 – 122 кг.

Живой вес телочек 3 группы на 5 месяце недостоверно достиг 154 кг, 2 группы – 153 и 1 группы – 149 кг.

Телочки 3 группы коров-матерей на 6 месяце роста весили 192 кг, 2 группы – 187 и 1 группы – 174 кг. Критерии живой массы ремонтных телок голштинской породы для стад с удоем 8000–10 000 кг в 6-месячном возрасте составляют 174 кг.

На 7 месяце выращивания телочки 3 группы достигли веса 228 кг, 2 группы – 214 и 1 – 209 кг. На данный момент мониторинг развития телок в пределах эксперимента продолжается.

Таблица 3 – Выращивание телок-дочерей коров опытных групп (кг)

Table 3 – Growing heifers - daughters cows experienced groups (kg)

Группа / (Group)	n	Вес при рождении, кг / (Birth weight, kg)	Месяцы (Months)						
			1	2	3	4	5	6	7
			M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
1	6	34±1,12	55±2,7	66±4,3	95±137,0	122±7,1	149±5,4	174±5,7	209±10,7
2	10	33±0,5	62±4,7**	72±6,5*	100±93,8	133±5,9	153±8,4	187±5,9	214±9,4
3	6	33±0,72	60±5,8**	76±6,5*	101±172,2	128±6,3	154±11,2	192±8,2	228±12,7
Всего (total)	22	33±0,4	60±7,6	71±3,6	99±71,0	128±3,7	152±4,9	185±3,9	216±6,1

**P≤0,01; *P≤0,10

Среднесуточный прирост в первый месяц телок-дочерей 2 группы после рождения составил 940 г, 3 группы – 911 и 1 группы – 711 г (таблица 4), что превышает расчетный вес в исследованиях Н. И. Стрекозова с соавторами [6].

Таблица 4 – Среднесуточный прирост телок-дочерей коров опытных групп (г)

Table 4 – Average daily growth of heifers-daughters of cows of the experimental groups (g)

Группа / (Group)	n	Месяцы (Months)						
		1	2	3	4	5	6	7
		M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
1	6	711±65,9	363±106,3	989±137,9	889±179,6	895±167,9	617±37,3	1183±257,3
2	10	940±159,0	545±75,5	917±93,8	1100±143,2	717±131,6	1127±175,3	927±156,1
3	6	911±161,9	411±56,5	833±172,2	889±213,7	894±213,5	1244±107,7*	1217±167,5
Всего (total)	22	870±35,8	356±68,1	914±70,9	985±97,9	814±92,4	1020±99,2	1076±108,4

*P≤0,10

На втором месяце среднесуточный прирост значительно снизился у всего поголовья телочек, при этом во 2 группе – 545 г, в 1 группе – 363 г и в 3 – 411 г, что значительно ниже рекомендуемых параметров.

Телочки 1 группы на 3 месяце выращивания достигли привесов 989 г, 2 группы – 917 и 3 – 833 г. Наиболее близки к параметрам по уровню среднесуточного прироста телки 3-й группы на 3-м месяце выращивания. Выращивание телок со среднесуточным приростом около 800 г в возрасте от 2-3 месяцев и до наступления половой зрелости, вполне вероятно.

На четвертом месяце выращивания среднесуточный прирост телок-дочерей матерей 2 группы составил 1100 г, 1 и 3 групп – 889 г в каждой.

Среднесуточный прирост телок на пятом месяце выращивания 1 и 3 групп – 894 – 895 г, второй – 717 г.

Телки 3 группы на 6 месяце выращивания достоверно достигли среднесуточного прироста 1244 г ($P \leq 0,10$), 2 группы – 1127 г и 1 – 617 г.

На 7 месяце выращивания среднесуточный прирост телок 3 группы недостоверно составил 1217 г, 1 группы – 1183 и 2 – 927 г.

В течение 6-7 месяцев выращивания в хозяйстве произошла смена производителя премикса в составе рациона для опытных телочек. На данный момент уровни кормления животных отрегулированы в соответствии с планируемой живой массой в последующие месяцы.

Заключение. Анализ полученных данных молочной продуктивности опытных групп коров в первую половину лактации позволяет сказать, что как удой, так и выход молочной продукции достоверно высоки в третьей группе ($P \leq 0,001$; $P \leq 0,01$). Проведен сравнительный анализ роста и развития телок-дочерей, происходящих от коров голштинской породы разного уровня продуктивности. Динамика весового роста следующая: в 1 месяц после рождения телочки 2 группы весили 62 кг ($P \leq 0,01$), 1 и 3 групп – 55 и 60 кг; на 2 месяце вес телочек 3 группы составил 76 ($P \leq 0,10$), 2 группы – 72 кг ($P \leq 0,10$). Далее наблюдалась тенденция более высокого веса у телок 2 и 3 групп. Рассчитан ежемесячный среднесуточный прирост за 7 месяцев после рождения. Среднесуточный прирост телок 3 группы на 6 месяце составил 1244 г ($P \leq 0,10$), 2 группы – 1127 г, 1 – 617 г. На 7 месяце выращивания тенденция превосходства среднесуточного прироста телок 3 группы сохраняется и составляет 1217 г. Для более полной реализации генетического потенциала необходим постоянный анализ взаимосвязи интенсивности роста и развития молодняка с уровнем молочной продуктивности высокопродуктивных коров голштинской породы, что повысит рентабельность отрасли.

Библиографический список

1. Бэйли Т., Мерфи Д. Контроль развития телок молочных пород [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mkg-nn.ru/images/pdf/heifergrowthmonitoring.pdf>. (Дата обращения: 22.10.2019).
2. Влияние молока, подкисленного метановой кислотой, на рост и развитие телят в молочный период выращивания / В. А. Мартынов, С. И. Снигирёв, Д. С. Белый [и др.]. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. Т. 91. №5. С. 80-82.
3. Интенсивность выращивания телок и их последующие воспроизводительные качества / А. А. Некрасов, Н. А. Попов, Н. А. Некрасова, Н. Н. Сулима, Е. Г. Федотова // Зоотехния. 2013. № 4. С. 2- 4.
4. Каратунов В. А., Шевченко А. Н., Тузов И. Н. Биологические особенности роста и развития голштинского молодняка австралийской селекции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. №136. С. 223-236.
5. Коровин А. В., Карамаев С. В., Бакаева Л. Н. Особенности роста и развития тёлочек молочных пород в условиях промышленного комплекса // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. №2 (40). С.137-140.
6. Кумарин С. В., Первов Н. Г. Параметры роста и развития ремонтных телок. НПАО «Коудайс МКорма» - ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kmkorma.ru/information/articles/980>. (Дата обращения: 22.10.2019).
7. Молочное скотоводство России. Под ред. Н.И. Стрекозова, Х.А. Амерханова. Москва, 2013. 611 с.
8. Особенности потомства отечественного черно-пестрого скота от быков-производителей разных стран разведения голштинской породы / Н. А. Попов, Л. К. Марзанова, И. Н. Алексеева, В. А. Одиноких // Зоотехния. 2013. № 5. С. 2 - 4.
9. Сизова Ю. В. Влияние кормления на рост и развитие телят // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. №2 (58). С. 106-108.
10. Стрекозов Н. И., Амерханов Х. А., Первов Н. Г. Молочное скотоводство России. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. Москва, 2013. 616 с.

11. Сулыга Н. В., Ковалева Г. П., Мочалова М. О. Влияние генетического потенциала материнских предков на рост и развитие телят черно-пестрой породы // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. Т. 3. №7. 2014. С. 263-266.

12. Чеченихина О. С. Влияние скорости роста молодняка коров на дальнейшую молочную продуктивность и экстерьерные показатели // Зоотехния. 2012. №9. С. 17-18.

13. Kišac P. Effect of weaning calves from mother at different ages on their growth and milk yield of mothers / P. Kišac, J. Brouček, M. Uhrinčat', A. Hanus // Czech J. Anim. Sci., 56, 2011 (6): 261-268.

Reference

1. Bjeļli T., Merfi D. Kontrol' razvitiya telok molochnyh porod [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.mkg-nn.ru/images/pdf/heifergrowthmonitoring.pdf>. (Data obrascheniya: 22.10.2019).

2. Vliyanie moloka, podkislennogo metanovoj kislotoj, na rost i razvitie telyat v molochnyj period vyraschivaniya / V. A. Martynov, S. I. Snigirjov, D. S. Belyj [i dr.]. // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. Vol. 91. №5. P. 80-82.

3. Intensivnost' vyraschivaniya telok i ih posleduyushie vosproizvoditel'nye kachestva / A. A. Nekrasov, N. A. Popov, N. A. Nekrasova, N. N. Sulima, E. G. Fedotova // Zootehniya. 2013. № 4. P. 2- 4.

4. Karatunov V. A., Shevchenko A. N., Tuzov I. N. Biologicheskie osobennosti rosta i razvitiya golshhtinskogo molodnyaka avstralijskoj selekcii // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. №136. P. 223-236.

5. Korovin A. V., Karamaev S. V., Bakaeva L. N. Osobennosti rosta i razvitiya tjolok molochnyh porod v usloviyah promyshlennogo kompleksa // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. №2 (40). P.137-140.

6. Kumarin S. V., Pervov N. G. Parametry rosta i razvitiya remontnyh telok. NPAO "Koudajs MKorma" - VIZh im. akademika L. K. Jernsta [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.kmkorma.ru/information/articles/980>. (Data obrascheniya: 22.10.2019).

7. Molochnoe skotovodstvo Rossii. Pod red. N. I. Strekozova, H. A. Amerhanova. Moskva, 2013. 611 p.

8. Osobennosti potomstva otechestvennogo cherno-pestrogo skota ot bykov-proizvoditelej raznyh stran razvedeniya golshhtinskoj породы / N. A. Popov, L. K. Marzanova, I. N. Alekseeva, V. A. Odinokih // Zootehniya. 2013. № 5. P. 2 - 4.

9. Sizova Yu. V. Vliyanie kormleniya na rost i razvitie telyat // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. №2 (58). P. 106-108.

10. Strekozov N. I., Amerhanov H. A., Pervov N. G. Molochnoe skotovodstvo Rossii. Izd. 2-e, pererabotannoe i dopolnennoe. Moskva, 2013. 616 p.

11. Sulyga N. V., Kovaleva G. P., Mochalova M. O. Vliyanie geneticheskogo potentsiala materinskih predkov na rost i razvitie telyat cherno-pestroj породы // Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva. Vol. 3. №7. 2014. P. 263-266.

12. Chechenihina O. S. Vliyanie skorosti rosta molodnyaka korov na dal'nejshuyu molochnuyu produktivnost' i jekster'ernye pokazateli // Zootehniya. 2012. №9. P. 17-18.

13. Kišac P. Effect of weaning calves from mother at different ages on their growth and milk yield of mothers / P. Kišac, J. Brouček, M. Uhrinčat', A. Hanus // Czech J. Anim. Sci., 56, 2011 (6): 261-268.

Информация об авторах:

Карликова Галина Геннадьевна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных; E-mail: karlikovagalina@yandex.ru; Тел: +7(910)493-25-95.

Контэ Александр Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных; E-mail: alexandrconte@yandex.ru; Тел: +7(964) 784-28-90.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**ПОВЫШЕНИЕ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЯГНЯТ ПУТЁМ
СКРЕЩИВАНИЯ МЕРИНОСОВЫХ ОВЦЕМАТОК И
ГЛАДКОШЕРСТНЫХ БАРАНОВ**

**INCREASING THE MEAT PRODUCTIVITY OF LAMBS BY CROSSING
MERINO SHEEP AND SMOOTH-HAIRED SHEEP**

Ю. А. Колосов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Н. Г. Чамурлиев², доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А. С. Дегтярь¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
С. В. Дегтярь¹, аспирант

YU.A. Kolosov¹, N.G. Chamurliiev², A.S. Degtyar'¹, S.V. Degtyar'¹

¹Донской государственный аграрный университет

²Волгоградский государственный аграрный университет

¹Don State Agrarian University

²Volgograd State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 25.10.2019
Received

Дата принятия к печати 20.12.2019
Submitted 20.12.2019

В статье представлены результаты промышленного скрещивания маток породы советский меринос с баранами породы дорпер. При скрещивании маток породы советский меринос с баранами породы дорпер проявляется эффект гетерозиса, о чем свидетельствует повышение живой массы. Превосходство новорожденных баранчиков 2 группы составило 21,1%, в возрасте 4 и 6 месяцев – 17,6 и 17,5 % соответственно. Масса туш у помесного молодняка составила 18,93 кг против 15,14 кг у чистопородных мериносов, и по всем основным убойным параметрам помесный молодняк превосходил чистопородных баранчиков. Один из основных качественных показателей мясной продуктивности – убойная масса у помесей оказалась выше на 24,8 %, масса внутреннего жира на 3,8 %, убойный выход на 2,8 абс. процента. Проведённый лабораторный анализ химического состава мяса выявил, что у молодняка опытной группы был выше уровень сухого вещества и, как следствие, ниже массовая доля влаги. В мясе помесей было на 1,25 % влаги меньше, чем у чистопородных сверстников. Уровень содержания жира в мышечной ткани ягнят улучшенного генотипа был выше и оказал влияние на калорийность мяса. Этот параметр у помесных баранчиков был на 4,8% выше в сравнении с чистопородными сверстниками. В результате разностороннего сравнительного анализа показателей мясной продуктивности контрольного молодняка и баранчиков улучшенных генотипов было выявлено превосходство по желательным компонентам у помесей.

The article presents the results of the industrial crossing sheep breed Soviet Merino with rams of the breed dorper. When crossing Soviet Merino sheep breed dorper manifests heterosis effect, as evidenced by the increase in body weight. Crossbred sheep of the second group significantly surpassed purebred peers in live weight at all age periods. Thus, at birth, the superiority of group 2 rams was 21,1%, at the age of 4 and 6 months-17,6 and 17,5%, respectively. Crossbred young had an average mass of carcasses 18,93 kg, against 15,14 kg in purebred Merino and all major slaughter parameters superior purebred rams. Thus, the slaughter weight of hybrids is higher by 24,8%, the mass of internal fat by 3,8%, the slaughter yield by 2,8 abs. percent's. The chemical analysis data show that the crossbred young animals had a higher dry matter content and a lower mass fraction of moisture in the average meat sample. In meat hybrids was on 1,25% moisture less, than have purebred counterparts. The inverse percentage of moisture was the percentage of fat that had an effect on the caloric content of meat. The caloric content of crossbred rams was 4,8% higher compared to purebred peers. Thus, the analysis of a complex of the indicators characterizing meat productivity revealed that superiority on the studied indicators remains for crossbred young growth. Hybrids have higher live weight and quality characteristics of meat productivity.

Ключевые слова: скрещивание овец, мясная продуктивность баранчиков, живая масса баранчиков, химический состав мяса.

Key words: crossing, meat productivity, live weight, chemical composition of meat.

Цитирование. Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Дегтярь А. С., Дегтярь С. В. Повышение мясной продуктивности ягнят путём скрещивания мериносовых овцематок и гладкошерстных баранов. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 135-140. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-16.

Citation. Kolosov Yu. A., Chamurliev N. G., Degtyar A. S., Degtyar S. V. Increasing the meat productivity of lambs by crossing merino ewes and smooth-kosher sheep. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 135-140 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-16.

Введение. Для обеспечения уровня дохода, приносящего прибыль от овцеводства, сформировалось направление на совершенствование мясной продуктивности животных и увеличение объёмов её производства. Решить эту задачу можно, например, посредством использования промышленного скрещивания [3, 4, 6, 7].

Однако отсутствие достаточного количества апробированных вариантов простого и сложного промышленного скрещивания на основе изменившихся генетических ресурсов для реализации эффекта гетерозиса как основного инструмента получения желательного результата диктует требования проведения испытаний путем привлечения как российских, так и общемировых пород овец [1, 8, 9, 11, 12]. Гибриды и помеси должны обладать высокой скоростью роста, трансформацией корма в продукцию, а так же иметь повышенное многоплодие [2, 5, 10, 13].

К числу перспективных во всем мире пород относится порода дорпер. Вывели породу в Южной Африке после скрещивания курдючных овец, традиционно разводимых в регионе, с баранами дорсет хорн и персидской черноголовой овцы. В результате селекции получилась одна из наиболее продуктивных мясных пород с отличными вкусовыми качествами баранины. В связи с тем, что в Африке шерсть не пользуется большим спросом, порода создавалась как бесшерстная, т.е. ее не стригут, весной овцы полностью линяют. Мясо нежное, жировые ткани равномерно распределены между мышечными волокнами. Особенности шерстного покрова обеспечивают то, что специфический вкус баранины, свойственный шерстным породам из-за жиропота, минимальный. Выход мяса достигает 59% от живой массы. Отличные показатели имеет кожа овец, она плотная и крепкая, без складок и жировиков, используется для производства различных галантерейных изделий и кожаной одежды. Плодовитость 150–225 гол. на сто овцематок. В РФ порода дорпер является новой и данных по ее использованию при скрещивании с другими породами мало. Имеются научные публикации об использовании этой породы в породообразовательном процессе в Республике Калмыкия. Уже получены результаты от скрещивания баранов породы дорпер с матками калмыцкой курдючной породы [10].

В селе Верхний Любаз Фатежского района Курской области заработала первая в России индустриальная ферма по круглогодичному разведению овец. Овцеферма создана в рамках проекта «Фатежская ягнятина». Исполнитель – известный и крупнейший в России агрохолдинг «Мираторг». Мощность объекта составит 3,3 тысячи тонн в год. На этой ферме численностью 18 тыс. голов разводят овец породы дорпер.

Отечественные фермеры скрещивают дорперов с романовскими овцами, получая неплохих гибридов. Поэтому изучение влияния скрещивания этой породы с отечественными мериносовыми породами овец на мясную продуктивность молодняка, полученного в результате новой комбинации, актуально как с научной, так и с практической точки зрения. В Ростовскую область животные этой породы были завезены в 2016 году из Подмосковья.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились в ООО «Князь Владимир» Заветинского района Ростовской области в 2017-2018 годах. Объектом исследований служили две группы баранчиков по 20 голов в возрасте от рождения

до 6 месяцев. Первая группа – чистопородные баранчики породы советский меринос, вторая группа – полукровные помеси, полученные при скрещивании маток породы советский меринос и баранов породы дорпер.

Для оценки показателей роста молодняка проводилось ежемесячное взвешивание баранчиков подопытных групп. В 180-дневном возрасте подопытных баранчиков путём убоя 5 голов из каждой группы по традиционной методике был установлен уровень убойных качеств. При контрольном убое животных отбирались средние образцы мякоти и в лабораторных условиях изучался химический состав мяса. Полученные цифровые данные экспериментальных исследований обрабатывали методами вариационной статистики с определением трех уровней вероятности.

Результаты и обсуждение. Основным показателем, характеризующим особенности роста сельскохозяйственных животных, являются изменения живой массы. В наших исследованиях динамика живой массы отражала как общие биологические закономерности развития молодняка овец, так и их особенности в зависимости от генотипа (таблица 1).

Таблица 1 – Изменения живой массы молодняка с возрастом, кг

Table 1 – Changes in live weight of young animals with age, kg

Возраст, мес. / Age, month	Группа/ Group	
	1	2
При рождении / At birth	3,8±0,09	4,6±0,05
4 месяца / 4 month	26,7±0,35	31,4±0,37
6 месяцев / month	33,0±0,41	38,8±0,46

При скрещивании овцематок породы советский меринос с баранами породы дорпер проявляется эффект гетерозиса, о чем свидетельствует повышение живой массы.

Помесные баранчики второй группы достоверно ($P>0,999$) превосходили сверстников породы советский меринос по живой массе во время контрольных измерений. Так, при рождении превосходство баранчиков 2 группы составило 21,1%, в возрасте 4 и 6 месяцев – 17,6 и 17,5% соответственно.

Реализация молодняка овец на мясо в молодом возрасте имеет большое значение с позиций экономической целесообразности, т.к., во-первых, обычно в это время года корма наиболее дешёвые, а во-вторых, и это наиболее важно, затраты корма на прирост единицы живой массы до 8-месячного возраста минимальные. Помимо этого, получаемая мясная продукция отличается высокими потребительскими свойствами и наиболее востребована на рынке мясной продукции. В первые месяцы жизни ягнят наблюдается наиболее активный синтез белка и прирост мышечной массы. С возрастом увеличение массы туши овец происходит преимущественно за счет отложения жира, что приводит к существенному повышению затрат на мясную продукцию и резко снижает потребительские свойства [1, 4, 6]. В нашем эксперименте контрольный убой молодняка проводили в 6-месячном возрасте. Продуктивные качества молодняка подопытных групп после убоя представлены в таблице 2.

Баранчики, полученные в результате комбинации наследственности исходных пород, обладали более высокими параметрами послеубойных показателей мясной продуктивности по сравнению со сверстниками контрольной группы. Так, убойная масса у помесей оказалась выше на 24,8 %, масса внутреннего жира – на 3,8 %, убойный выход – на 2,8 абс. процента.

Для оценки эффективности производства мясной продукции важное значение имеют её качественные параметры, в том числе энергетическая ценность [7]. Вариабельность химического состава мяса - баранины связана со многими факторами: породностью, возрастом, полом, условиями кормления, набором кормов при откорме, режимом питания и т.д. [9, 11].

Таблица 2 – Послеубойные показатели мясной продуктивности подопытных животных, кг

Table 2 – Post-slaughter indicators of meat productivity of experimental animals, kg

Показатели / Indicators	Группы / Groups	
	1	2
Предубойная масса после голодной выдержки / Slaughter mass after fasting	32,6±0,37	38,4±0,425
Масса парной туши / Mass of fresh carcass	15,54±0,43	19,43±0,39
Масса охлажденной туши / Chilled carcass weight	15,14±0,50	18,93±0,29
Масса внутреннего жира / Mass of internal fat	0,156±0,07	0,162±0,11
Убойная масса / Slaughter mass	15,3±0,32	19,1±0,41
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	46,9	49,7

Более консервативным значением в мясе является уровень белка и минеральных элементов, а наибольшей изменчивостью характеризуется жировая компонента. В наших исследованиях, которые отразили общебиологические закономерности, свойственные данному виду, сформировалась следующая картина (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты анализа мышечной ткани, %

Table 3 – Results of analysis of muscle tissue, %

Группы / Groups	Уровень содержания / Content level				Энергетическая цен- ность, ккал / Energy value, kcal
	Влаги / Moisture	Белка / Protein	Жиры / Fat	Золы / Ash	
1	68,40±1,12	20,06±0,41	10,44±0,33	1,10±0,02	1793,46±18,2
2	67,15±1,04	20,62±0,56	11,12±0,62	1,11±0,05	1879,6±16,17

При лабораторном анализе химического состава образцов, отобранных во время проведения контрольного убоя, было установлено, что у помесного молодняка уровень содержания сухого вещества в пробах превышал в среднем эти значения в контроле. Разница составила 1,25 %. В обратном соотношении с влажностью находился уровень содержания жира, который оказал основное влияние на различия в калорийности мяса между группами ($P \geq 0,95$). В результате калорийность средней пробы мяса помесных баранчиков была на 4,8 % выше в сравнении с чистопородными сверстниками контрольной группы ($P \geq 0,99$). Данный факт следует учитывать при определении тактики маркетинга для данного вида продукции.

Заключение. В проведенном эксперименте скрещивание овцематок породы советский меринос с баранами-производителями породы дорпер позволило установить превосходство помесного молодняка по ряду показателей над своими чистопородными сверстниками. Помеси отличались более высокими показателями живой массы. Различия по этому признаку у баранчиков подопытных групп в разные возрастные периоды составили 17-21 %. Различия в живой массе повлекли за собой изменения мясной продуктивности в пользу молодняка овец комбинированного генотипа.

Библиографический список

1. Двалишвили, В. Г., Опакай Ч. М. Мясная продуктивность молодняка мясошерстных овец разного происхождения // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 4. С. 21-23.
2. Использование романовских овец в различных вариантах скрещивания для производства молодой баранины / В. П. Лушников, А. В. Молчанов, Д. В. Лушников, А. А. Скиданова // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 3. С. 23-25.
3. Колосов Ю. А., Клименко А. И., Абонеев В. В. Некоторые исторические и современные аспекты мериносового овцеводства России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2014. №2. С. 2-4.
4. Кравченко Н. И. Влияние прямого и реципрокного скрещивания южной мясной и романовской пород на мясную продуктивность помесей // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 4. С. 15-18.

5. Кравченко Н. И. Интенсификация воспроизводства овец – основа повышения рентабельности отрасли // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 8-10.
6. Кравченко Н. И. Создание нового типа многоплодных овец на основе скрещивания мериносов с романовскими баранами // Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. №3. С. 19-21.
7. Молчанов А. В., Светлов В. В., Козин А. Н. Эффективность скрещивания маток куйбышевской породы с эдильбаевскими баранами // Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 2. С. 7-9.
8. Некоторые особенности экстерьера молодняка различного происхождения/ Ю. А. Колосов, И. В. Засемчук, Т. С. Романец, М. Е. Маенко // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (12). С. 19-25.
9. Рост и мясные качества молодняка овец различного происхождения/ Ю. А. Колосов, А. С. Дегтярь, Н. В. Широкова, В. В. Совков // Овцы, козы, шерстяное дело. 2013. № 1. С. 32-33.
10. Чамурлиев Н. Г., Филатов А. С., Мельников А. Г. Интенсивность роста и мясные показатели баранчиков ставропольской породы и их помесей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. №2 (38). С. 176-181.
11. Чамурлиев Н. Г., Цай Е. И., Филатов А. С. Показатели продуктивности молодняка овец в зависимости от их генотипа // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. №3 (43). С. 135-141.
12. CAST/MSPI gene polymorphism and its impact on growth traits of soviet merino and salsk sheep breeds in the south european part of RUSSIA / I. F. Gorlov, N. V. Shirokova, A. V. Randelin, V. N. Voronkova, N. I. Mosolova, E. Y. Zlobina, Y. A. Kolosov, N. F. Bakoev, M. A. Leonova, S. Y. Bakoev, A. Y. Kolosov, L. V. Getmantseva // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. Vol. 40. № 4. P. 399-405.
13. The relationship between heterosis and genetic distances based on ssr markers in helianthus annuus / A. V. Usatov, K. V. Azarin, N. V. Markin, V. E. Tikhobaeva, O. A. Usatova, M. Makarenko, A. I. Klimenko, Y. A. Kolosov, S. Bakoev, L. Getmantseva, O. F. Gorbachenko // American Journal of Agricultural and Biological Science. 2014. Vol. 9. № 3. P. 270-276.

Reference

1. Dvalishvili, V. G., Opakaj Ch. M. Myasnaya produktivnost' molodnyaka myasosherstnykh ovec raznogo proisxozhdeniya // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2018. № 4. P. 21-23.
2. Ispol'zovanie romanovskih ovec v razlichnyh variantah skreschivaniya dlya proizvodstva molodoj baraniny / V. P. Lushnikov, A. V. Molchanov, D. V. Lushnikov, A. A. Skidanova // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2018. № 3. P. 23-25.
3. Kolosov Yu. A., Klimenko A. I., Aboneev V. V. Nekotorye istoricheskie i sovremennye aspekty merinosovogo ovcevodstva Rossii // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2014. №2. P. 2-4.
4. Kravchenko N. I. Vliyanie pryamogo i reciproknogo skreschivaniya yuzhnoj myasnoj i romanovskoj porod na myasnuyu produktivnost' pomesej // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2018. № 4. P. 15-18.
5. Kravchenko N. I. Intensifikaciya vosproizvodstva ovec - osnova povysheniya rentabel'nosti otrasli // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2018. № 2. P. 8-10.
6. Kravchenko N. I. Sozdanie novogo tipa mnogoplodnykh ovec na osnove skreschivaniya merinosov s romanovskimi baranami // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2017. №3. P. 19-21.
7. Molchanov A. V., Svetlov V. V., Kozin A. N. Jefferktivnost' skreschivaniya matok kujbyshevskoj porody s jedil'baevskimi baranami // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2017. № 2. S. 7-9.
8. Nekotorye osobennosti jekster'era molodnyaka razlichnogo proisxozhdeniya/ Yu. A. Kolosov, I. V. Zasemchuk, T. S. Romanec, M. E. Maenko // Vestnik Donskogo gosudar-stvennogo agrarnogo universiteta. 2014. № 2 (12). P. 19-25.
9. Rost i myasnye kachestva molodnyaka ovec razlichnogo proisxozhdeniya/ Yu. A. Kolosov, A. S. Degtyar', N. V. Shirokova, V. V. Sovkov // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2013. № 1. P. 32-33.
10. Chamurlijev N. G., Filatov A. S., Mel'nikov A. G. Intensivnost' rosta i myasnye pokazateli baranchikov stavropol'skoj porody i ih pomesej // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2015. №2 (38). P. 176-181.
11. Chamurlijev N. G., Caj E. I., Filatov A. S. Pokazateli produktivnosti molodnyaka ovec v zavisimosti ot ih genotipa // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2016. №3 (43). P. 135-141.

12. CAST/MSPI gene polymorphism and its impact on growth traits of soviet merino and salsk sheep breeds in the south european part of RUSSIA / I. F. Gorlov, N. V. Shirokova, A. V. Randelin, V. N. Voronkova, N. I. Mosolova, E. Y. Zlobina, Y. A. Kolosov, N. F. Bakoev, M. A. Leonova, S. Y. Bakoev, A. Y. Kolosov, L. V. Getmantseva // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. Vol. 40. № 4. P. 399-405.

13. The relationship between heterosis and genetic distances based on ssr markers in helianthus annuus / A. V. Usatov, K. V. Azarin, N. V. Markin, V. E. Tikhobaeva, O. A. Usatova, M. Makarenko, A. I. Klimenko, Y. A. Kolosov, S. Bakoev, L. Getmantseva, O. F. Gorbachenko // American Journal of Agricultural and Biological Science. 2014. Vol. 9. № 3. P. 270-276.

Информация об авторах

Колосов Юрий Анатольевич, профессор кафедры частной зоотехнии и кормления с.-х. животных Донского государственного аграрного университета (РФ, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), доктор сельскохозяйственных наук. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6826-8009>

E-mail: kolosov-dgau@mail.ru

Чамурлиев Нодари Георгиевич, профессор кафедры частной зоотехнии Волгоградского государственного аграрного университета, (РФ, 400002, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор сельскохозяйственных наук. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2421-3065>

E-mail: zootexnia@mail.ru

Дегтярь Анна Сергеевна, доцент кафедры частной зоотехнии и кормления с.-х. животных Донского государственного аграрного университета (РФ, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0749-5558>

E-mail: annet_c@mail.ru

Дегтярь Сергей Владимирович, аспирант кафедры частной зоотехнии и кормления с.-х. животных Донского государственного аграрного университета (РФ, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24).

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1955-5888>

E-mail: sergey.degtyar@unitile.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 636.234.1.082

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-17

ФОРМИРОВАНИЕ СЕМЕЙСТВ КОРОВ В СТАДЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

FORMATION OF COW FAMILIES IN THE HERD OF CATTLE OF A HOLSTEIN BREED

А. П. Коханов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Н.М. Фролова, ассистент

М. А. Коханов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

A. P. Kokhanov, N. M. Frolova, M. A. Kokhanov

Волгоградский государственный аграрный университет

Volgograd State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 02.09.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received 02.09.2019

Submitted 20.12.2019

Оценены продуктивные качества коров и дан анализ генеалогической структуры стада племенного завода «Орошаемое» Волгоградской области. Выделены родоначальницы маточных семейств коров голштинской породы, которые продуцировали в стаде хозяйства в конце прошлого столетия – начале XXI века и оставили на ферме племенного завода маточное потомство с разным уровнем

продуктивности. Коровы, рекордистки стада хозяйства, которые продолжали продуцировать на 01.06.2019 года, являются дочерями быков-производителей, сперма которых завозилась из ОАО «Невское» Ленинградской области. Селекция с животными высокопродуктивных семейств осуществляется по четырем основным признакам: удою, массовой доле жира и белка в молоке, живой массе. В стаде племенного завода «Орошаемое» за последние 22 года (растел нетелей, завезенных из Германии, начал осуществляться в 1997 году) сложилось достаточно большое количество высокопродуктивных семейств, потомки которых продуцируют за 305 дней лактации более 8 тыс. кг молока. В качестве матерей будущих быков в стаде выделена группа коров (n=14) с удоем за 305 дней лактации свыше 9,5 тыс. кг и массовой долей жира 4,30-4,42 и белка – 3,10-3,25 %.

The productive qualities of cows were evaluated and the genealogical structure of the herd of the Irrigated breeding plant of the Volgograd Region was analyzed. The parental families of the uterine families of Holstein cows were identified, which were produced in the herd of the farm at the end of the last century - the beginning of the 21st century and left their offspring with different levels of productivity on the farm of the breeding farm. Cows, the herdsman of the herd of the farm, which continued to be produced on 01/06/2019, are the daughters of manufacturing bulls whose sperm was imported from Open Joint-stock Company «Nevskoye» in the Leningrad Region. Breeding with animals of highly productive families is carried out according to four main characteristics: milk yield, mass fraction of fat and protein in milk, live weight. In the herd of the Irrigated breeding plant over the past 22 years (heifers brought in from Germany, began to be introduced in 1997), a fairly large number of highly productive families have developed, the descendants of which produce more than 8 thousand kg of milk in 305 days of lactation. A group of cows (n=14) with a milk yield per 305 days of lactation over 9,5 thousand kg and a mass fraction of fat of 4,30-4,42 and protein – 3,10-3,25% was selected as the mothers of future bulls in the herd.

Ключевые слова: коровы, быки, породы КРС, племязаводы, лактация коров, живая масса коров.

Key words: cow, bull, breed, breeding farm, lactation, body weight.

Цитирование. Коханов А. П., Фролова Н. М., Коханов М. А. Формирование семейств коров в стаде крупного рогатого скота голштинской породы. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 140-145. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-17.

Citation. Kokhanov A. P., Frolova N. M., Kokhanov M. A. Formation of cow families in the herd of cattle of a holstein breed. *Proc. Of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 140-145 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-17.

Введение. Насущной проблемой молочного скотоводства Российской Федерации, как и большинства европейских стран, продолжают оставаться направления селекции скота на повышение срока продуктивного использования коров разных пород, изыскание более продуктивных генеалогических линий быков и маточных семейств [7, 8]. Увеличение биологической продолжительности продуктивного использования коров в стадах скота молочных пород включает такой селекционный прием, как формирование маточных семейств [4].

Специалистами и учеными установлено – в организме потомков от высокопродуктивных родителей формируется устойчивая наследственная основа не только от матерей и отцов, но и от более отдаленных предков. При целенаправленном подборе уже в третьем-четвертом поколениях формируется высокоценное семейство коров [5, 6], в котором, кроме ремонтных телок, получают бычков, потребность в которых, в том числе в условиях Нижнего Поволжья, остается высокой [2].

Некоторые авторы [6, 8] отмечают, что снижение продолжительности хозяйственного использования коров происходит от того, что многими специалистами снижена роль живой массы коров, выраженность у этих животных молочного типа, то есть тех свойств конституции, которые наследуются потомками от родителей [1, 3, 10]. А они наследуют половину генома от отца и половину – от матери. Селекционная рабо-

та же с заводскими семействами коров формирует в организме потомков устойчивую наследственность не только матерей и более отдаленных потомков, но и отцов, дедов, прадедов, что является основой роста продуктивности животных конкретного стада [9].

Материалы и методы. Используя данные, отраженные в форме учета происхождения, динамики роста и развития телки, продуктивности коровы (форма 2-мол), мы установили генеалогическую систему животных стада племзавода «Орошаемое» со времени, когда они были нетелями и их завезли из Германии. Нами выделено 25 маточных семейств с числом животных более 10 голов в каждом. Для установления объективных данных продуктивности мы использовали для всех животных показатели удоя, массовых долей жира и белка лишь за первые 305 дней лактации.

Результаты и обсуждение. Средний удой на фуражную корову в год по анализируемому поголовью в племенном заводе доведен до 7000 кг молока. Данный показатель продуктивности животных для засушливой зоны Нижнего Поволжья достаточно высок. Установлено, что при разведении коров конкретных семейств в стаде хозяйства сохраняются в поколениях наследственные качества лучших коров.

Многочисленным потомством, в стаде крупного рогатого скота анализируемого хозяйства выделяется корова Вьюга 90, завезенная нетелью в 1997 году из-за рубежа. Было животное из стада в возрасте 13 лет. В первую лактацию (305 дней) от нее надоено 7560 кг, а наивысший удой за те же 305 дней получен по шестой лактации – 9654 кг. Высший суточный удой определен в 43,5 кг. За весь продуктивный период хозяйственного использования рекордистки стада Вьюги получено 63 327 кг молока (2427 кг молочного жира). За годы племенного использования корова Вьюга пополнила стадо 10 телятами (5 бычков и 5 телочек).

В июне 2019 года в стаде племзавода продуцировало 4 коровы-правнучки и 3 коровы-праправнучки, приходящиеся потомками родоначальнице маточного семейства Вьюги 90 (рисунок 1).

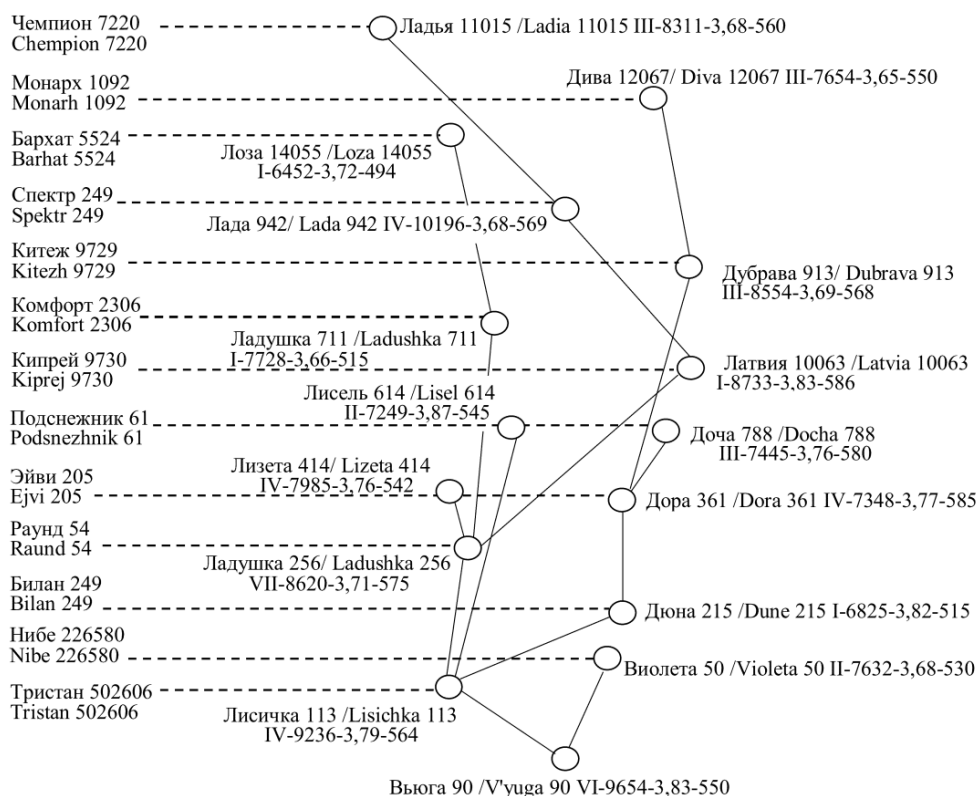


Рисунок 1 – Семейство коровы Вьюга 90 / Figure 1 – Family cow Blizzard 90

Отличительной особенностью продуцирующей родоначальницы маточного семейства являются выравненные удои, которые за 305 дней лактации составляли 5,7-6,5 тыс. кг молока (без учета продуктивности за наивысшую лактацию). По существу, от родоначальницы ежегодно получали приплод, ибо сухостойный период у нее длился не более 65 дней.

Животное обладало хорошим экстерьером, явно прослеживался молочный тип, а живая масса коровы в полновозрастном состоянии (6 отел) доходила до 585 кг.

В маточном семействе коровы мы выделили трех коров-долгожительниц. Так, дочь родоначальницы, корова Лисичка 113 (отец – бык Тристан 502606) за период хозяйственного использования (7 лактаций) дала 61 762 кг молока, или 2348 кг молочного жира. От коровы Доры 361 (правнучка родоначальницы) надоено (за 5 лактаций) 38 501 кг. А рекордисткой стада по продуктивности была внучка Вьюги 90 – корова Ладушка 256 (отец – бык Раунд 54 линии Вис Айдиала). Корову Ладушку 256 растелилась восьмью бычками и тремя телочками. За 3491 лактационный день корова произвела 72 060 кг молока (2941 кг молочного жира). Выбракована корова в возрасте 14 лет 2-х месяцев (5.11.2013 года) при живой массе 575 кг.

В 2019 году внучка Лисички 113 – корова Латвия продуцирует по шестой лактации, а за предыдущие пять лактаций от неё надоили 38 242 кг, или 1438 кг молочного жира. Данное животное характеризуется отличными экстерьерными данными, а живая масса в возрасте четырех отёлов составила 586 кг.

Рекордисткой же семейства коровы Вьюги по удою за 305 дней лактации была корова Лада 942. Она приходилась внучкой Ладушки 256, от нее за 305 дней (4-я лактация) надоено 10 196 кг при массовой доле жира 3,68 %. Данное животное на протяжении продуктивного использования характеризуется стабильно высокими удоями. За 5 полных лактаций от нее получено 58 241 кг молока. Отмечаем – данный селекционный признак, то есть удои от матери, унаследовала ее дочь Ладья 11015, которая за три полных лактации произвела 25 821 кг, наивысший удои был за третью лактацию (305 дней) – 8311 кг.

Осуществив мониторинг продуцирующего поголовья стада крупного рогатого скота, нами выявлено достаточно большое количество животных, удои которых за время хозяйственного использования превысил 50 т. Отмечаем и животных с удоем более 60 т молока. Кроме коровы Ладушки 256 с удоем более 72 т молока, корова Барышня 162, от нее надоено 68 361 кг молока жирностью 3,83 %. Но более высокими удоями отмечены коровы Жаклин 356 и Медведка 77. Так, от коровы под кличкой Жаклин 356 за время хозяйственного использования (9 лактаций) получено 74 034 кг молока (2769 кг молочного жира). Это было крупное животное, в 13 лет – 575 кг. Репродуктивные качества коровы Жаклин – отличные – 9 отелов (11 телят, ибо в двух отелах – двойни). За все же годы разведения в анализируемом стаде племязавода «Орошаемое» лишь от коровы Медведки 77 надоено более 75 т молока (11 лактаций, 75 288 кг молока, или 2855 кг молочного жира).

Биометрической обработкой данных продуктивности 247 животных установлено (таблица 1).

Таблица 1 – Удой коров маточных семейств

Table 1 – Milk yield of cows of uterine families

Степень родства / Relation degree	n	M ± m	Cv, %	Limit
Родоначальницы / The ancestors	25	6534,9 ± 218	16,3	5196-9654
Дочери / Daughters	47	7204,2 ± 189*	18,0	4785-9825
Внучки / Granddaughters	68	7598,0 ± 102***	11,1	5930- 9150
Правнучки / Granddaughter	76	7755,7 ± 109***	12,2	6010-9310
Праправнучки / Great-great-granddaughters	31	7349,0 ± 196**	14,9	5006-9476

Нами определена положительная динамика удоя с возрастанием родства в маточных семействах коров племзавода «Орошаемое». Так, удой за 305 дней лактации у дочерей по сравнению с родоначальницами увеличился на 669,3 кг, или на 9,3 %; у внучек по сравнению с бабушками – на 14,0 %, у правнучек – 15,7 %. Ввиду того что праправнучки – молодые лактирующие животные, разница в удоях составила 814,2 кг (11,1 %) в пользу праправнучек.

Анализ показателей массовой доли жира коров маточных семейств приведен в таблице 2. Анализом показателей жирномолочности родоначальниц маточных семейств и их потомства в последующих четырех поколениях установлено некоторое снижение массовой доли жира молока. В тоже время установлена существенная достоверная разница по выходу молочного жира за 305 дней лактации. Так, дочери (I поколение) превосходили матерей по выходу молочного жира на 22,8 кг; внучки (II поколение) произвели молочного жира больше, чем их бабушки, на 37,2 кг; правнучки имели превосходство над родоначальницами маточных семейств уже на 41,3 кг.

Таблица 2 – Жирномолочность коров маточных семейств ($M \pm m$)

Table 2 – Fat content of cows of uterine families ($M \pm m$)

Степень родства / Relation degree	n	Массовая доля жира, %/ Mass fraction fat	Молочный жир, кг/ Milk fat
Родоначальницы / The ancestors	25	$3,83 \pm 0,02$	$250,0 \pm 8,5$
Дочери / Daughters	47	$3,79 \pm 0,02$	$272,8 \pm 5,8$
Внучки / Granddaughters	68	$3,78 \pm 0,01$	$287,2 \pm 3,7$
Правнучки / Granddaughter	76	$3,76 \pm 0,01$	$291,3 \pm 4,0$
Праправнучки / Great-great-granddaughters	31	$3,77 \pm 0,03$	$277,2 \pm 9,3$

Анализируя стадо животных по показателям живой массы, отмечаем высокую живую массу дочерей родоначальниц маточных семейств, 47 голов имели среднюю живую массу в 562,2 кг, что на 2,6 кг выше показателя живой массы родоначальниц. Ввиду того что животные в последующих поколениях более молочные, их живая масса несколько уступала родоначальницам семейств.

Родоначальницы маточных семейств стада племзавода «Орошаемое» на 100 кг живой массы произвели по 1167 кг молока, дочери – 1282 кг, внучки – 1369 кг, правнучки – 1444 кг, праправнучки – 1438 кг.

Заключение. Селекционная работа с маточными семействами коров в племзаводе «Орошаемое» способствовала повышению молочной продуктивности животных племенного стада с доведением удоя на корову до 7003 кг. За период с 2017 по 2019 год в хозяйстве выделено 14 маточных семейств с поголовьем 94 коровы, что позволило целенаправленно осуществлять подбор быков-производителей плановых линий породы. А воспроизводство животных лучших маточных семейств в племенных хозяйствах в последующие годы будет способствовать совершенствованию породы и выращиванию ценных быков-производителей для использования их в стадах голштинского скота Нижневолжского региона.

Библиографический список

1. Абугалиев С. К. Продуктивные и экстерьерные показатели коров голштинской породы, разводимой в ТОО «СП Первомайский» // Зоотехния. 2017. №10. С. 2-5.
2. Баранова Н. С., Баранов А. В., Подречнева И. Ю. Эффективность повторных подборов в заводских семействах костромской породы // Молочное и мясное скотоводство. 2016. №7. С. 6-10.
3. Батанов С. Д., Баранова И. А., Старостина О. С. Разработка модели комплексной оценки экстерьера и продуктивности молочного скота с использованием цифровых технологий // Зоотехния. 2019. №7. С. 2-8.
4. Мкртчян Г. В., Бакай А. В., Бакай Ф. Р. Сравнительный анализ продуктивных качеств коров разного происхождения при внутрилинейном подборе // Зоотехния. 2019. №9. С. 5-7.

5. Племяшов К. В. Определяя будущее животноводства России // Молочное и мясное скотоводство. 2015. № 5. С. 2-3.
6. Попов Н. А., Некрасов А. А., Федотова Е. Г. Продолжительность продуктивного использования коров в стаде черно-пестрой породы // Зоотехния. 2019. №7. С. 8-12.
7. Сакса Е. И. Реализация генетического потенциала голштинского скота при создании высокопродуктивного стада ЗАО «ПЗ «Рабитицы» // Молочное и мясное скотоводство. 2019. №3. С. 5-9.
8. Характеристика признаков экстерьера быков-производителей голштинской породы черно-пестрой и красно-пестрой масти / И. Н. Янчуков, А. Н. Ермилов, Н. С. Антипова, М. А. Александрова // Молочное и мясное скотоводство. 2016. №7. С. 2-6.
9. Evolution of the exterior of Holstein and Simmental primiparous cows / A. Konstandogio, V. Foksha, G. Srtatan, D. Stratan // Scientific papers. Series D. Animal Science. 2017. Vol. 60. P. 35-39.
10. Productivity and adaptation ability of Holstein cattle of different genetic selections / I. F. Gorlov, S. E. Bozhkova, N. I. Mosolova, E. Y. Zlobina, A. S. Mochov, O. P. Shakhbazova, V. V. Gubareva, Y. N. Fiodorov // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. Vol. 40. №5. P. 527-533.

Reference

1. Abugaliev S. K. Produktivnye i jekster'ernye pokazateli korov golshtinskoj porody, razvodimoy v TOO "SP Pervomajskij" // Zootehniya. 2017. №10. P. 2-5.
2. Baranova N. S., Baranov A. V., Podrechneva I. Yu. Jefferktivnost' povtornyh podborov v zavodskih semejstvah kostromskoj porody // Molochnoe i myasnoe sko-tovodstvo. 2016. №7. С. 6-10.
3. Batanov S. D., Baranova I. A., Starostina O. S. Razrabotka modeli kom-pleksnoj ocenki jekster'era i produktivnosti molochnogo skota s ispol'zovaniem cifrovyyh tehnologij // Zootehniya. 2019. №7. P. 2-8.
4. Mkrtchyan G. V., Bakaj A. V., Bakaj F. R. Sravnitel'nyj analiz produktivnyh kachestv korov raznogo proisxozhdeniya pri vnutrilinijnom podbore // Zootehniya. 2019. №9. P. 5-7.
5. Plemyashov K. V. Opredelyaya budushee zhivotnovodstva Rossii // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2015. № 5. P. 2-3.
6. Popov N. A., Nekrasov A. A., Fedotova E. G. Prodolzhitel'nost' produk-tivnogo ispol'zovaniya korov v stade cherno-pestroj porody // Zootehniya. 2019. №7. P. 8-12.
7. Saksa E. I. Realizaciya geneticheskogo potenciala golshtinskogo skota pri so-zdanii vyso-koproduktivnogo stada ZAO "PZ "Rabitycy" // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2019. №3. P. 5-9.
8. Harakteristika priznakov jekster'era bykov-proizvoditelej golshtinskoj po-rody cherno-pestroj i krasno-pestroj masti / I. N. Yanchukov, A. N. Ermilov, N. S. Antipova, M. A. Aleksandrova // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2016. №7. P. 2-6.
9. Evolution of the exterior of Holstein and Simmental primiparous cows / A. Konstandogio, V. Foksha, G. Srtatan, D. Stratan // Scientific papers. Series D. Animal Science. 2017. Vol. 60. P. 35-39.
10. Productivity and adaptation ability of Holstein cattle of different genetic selections / I. F. Gorlov, S. E. Bozhkova, N. I. Mosolova, E. Y. Zlobina, A. S. Mochov, O. P. Shakhbazova, V. V. Gubareva, Y. N. Fiodorov // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. Vol. 40. №5. P. 527-533.

Информация об авторах

Коханов Александр Петрович, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26), доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

E-mail: kohanov_000@mail.ru

Фролова Наталья Михайловна, ассистент кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26).

Коханов Михаил Александрович, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26), доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 639.3.07:639.3.043

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-18

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ БЕЛОГО ЛЮПИНА В КОМПЛЕКСЕ С МЯСОКОСТНОЙ МУКОЙ В КОМБИКОРМАХ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МОЛОДИ СИБИРСКОГО ОСЕТРА

THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF PROTEIN CONCENTRATE FROM WHITE LUPINE IN COMBINATION WITH MEAT AND BONE MEAL IN ANIMAL FEED FOR THE CULTIVATION OF JUVENILES OF THE SIBERIAN STURGEON

С. И. Николаев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Д. А. Ранделин¹, доктор биологических наук, профессор

Мохсен А. М. Я. Эльебяр^{1,2}, аспирант

О. Н. Кониева³, кандидат сельскохозяйственных наук

Р. С. Суторма¹, студент

S. I. Nikolaev¹, D. A. Randelin¹, Mohsen A. M. Y. Elebiary^{1,2},

O. N. Konieva³, R. S. Sutorma¹

¹Волгоградский государственный аграрный университет, Россия

²Национальный Институт океанографии и рыболовства, Хургада, Республика Египет

Калмыцкий государственный университет, Республика Калмыкия, Россия

¹Volgograd State Agrarian University, Russia

²National Institute of Oceanography & Fisheries, Hurghada, Egypt

³Kalmyk State University, Republic of Kalmykia, Russia

Дата поступления в редакцию 28.08. 2019

Дата принятия к печати 05.12.2019

Received 00.00.2019

Submitted 05.12.2019

В процессе исследований установлено, что при замене в комбикорме для осетровых рыб 25 % рыбной муки на белковый концентрат из белого люпина в комплексе с мясокостной мукой из сельскохозяйственной птицы наблюдалось незначительное снижение интенсивности роста молоди в опытной группе. Особи опытной группы уступают по живой массе аналогам из контрольной группы на второй месяц исследований на 1,55 г (0,45 %), четвертый – на 5,22 (0,84 %) и шестой – на 7,31 (0,77 %). За период опыта у молоди контрольной группы среднесуточный прирост живой массы был больше, чем у аналогов опытной группы, на 0,95 %, среднесуточный прирост – на 1,09 %. По химическому составу были выявлены недостоверные различия в пользу особей контрольной группы. Сухого вещества в их мышцах содержалось больше, чем у сверстников из опытных групп, на 0,6 %, белка – на 0,5 %, жира – на 0,2 %, энергии – на 0,25 МДж. Данные исследований свидетельствуют, что введение в комбикорм для осетров 25 % белкового концентрата из люпина в комплексе с мясокостной мукой взамен рыбной не вызвало достоверного отрицательного влияния на продуктивные качества молоди. Сохранность молоди за период эксперимента в опытной группе была меньше, чем в контроле, на 1,6 %. Ихтиомасса по контрольной группе при снятии с опыта была больше в сравнении с аналогами, получавшими комбикорм с концентратом из люпина в комплексе с мясокостной мукой, на 2,56 %, а прирост ихтиомассы за опытный период был больше на 3,09 %. В связи с более низкой стоимостью потребления кормов рыбой в опытной группе себестоимость производства их ихтиомассы была ниже, чем в контрольной, на 7,0 руб., а уровень рентабельности производства выше на 2,8 %.

In the research process was found that when replacing 25% of fish meal in sturgeon feed for protein concentrate from white lupine in combination with meat and bone meal from poultry, there was a slight decrease in the growth rate of juveniles in the experimental group. The individuals of the experimental group are inferior in terms of live weight to analogues from the control for the second month of research at 1,55 g. (0,45%), the fourth at 5,22 (0,84%), and the sixth at 7,31 (0,77%). Over the period of the experiment, the juvenile control group had an average daily gain in live weight greater than that of the analogues of the experimental group by 0,95%, and an average daily gain of 1,09%. The chemical composition

revealed unreliable differences in favor of individuals of the control group. Their muscles contained more dry matter than peers from experimental groups by 0,6%, protein by 0,5%, fat by 0,2%, energy by 0,25 MJ. Research data indicate that the introduction of 25% protein concentrate from lupine in combination with meat and bone meal instead of fish meal in mixed feed for sturgeon did not cause a significant negative effect on the productive qualities of juveniles. The safety of juveniles over the period of the experiment in the experimental group was less than in the control by 1,6%. The ichthyomass in the control group was greater when removed from the experiment in comparison with analogues receiving compound feed with lupine concentrate in combination with meat and bone meal by 2,56%, and the increase in ichthyomass during the experimental period was 3,09% more. Due to the lower cost of fish feed consumption in the experimental group, the cost of production of their ichthyomass was lower than in the control by 7,0 rubles, and the level of profitability of production was higher by 2,8%.

Ключевые слова: *молодь сибирского осетра, белковый концентрат, мясокостная мука, рыбная мука, рост осетров, развитие осетров, качественные показатели продукции.*

Key words: *juveniles of the Siberian sturgeon, protein concentrate, meat and bone meal, fish meal, sturgeon growth and development, product quality indicators.*

Цитирование. Николаев С. И., Ранделин Д. А., Эльбяри Мохсен А. М. Я., Кониева О. Н., Суторма Р. С. The effectiveness of the use of protein concentrate from white lupine in combination with meat and bone meal in animal feed for the cultivation of juveniles of the siberian sturgeon. *Известия НВ АУК.* 2019. 4(56). 146-152. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-18.

Citation. Nikolaev S. I., Randelin D. A., Elebyari Mokhsen A. M., Konieva O. N., Sutorma R. S. The effectiveness of the use of protein concentrate from white lupine in combination with meat and bone meal in animal feed for the cultivation of juvenile Siberian sturgeon. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 146-152 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-18.

Введение. В последние годы широкое распространение в РФ получило разведение ценных видов рыб в аквакультуре. При этом сдерживающим фактором ускоренного развития аквакультуры является недостаток специальных комбикормов для осетровых форм [6, 8, 10-12]. Основным и наиболее важным компонентом в комбикорме для ценных видов рыб считается рыбная мука. На мировом и российском рынках существует значительный дефицит рыбной муки, в связи с чем её стоимость сравнительно высока [3, 4, 9].

Перед учеными и практиками стоит задача – найти альтернативные источники сырья, способные заменить частично или полностью в комбикормах для объектов аквакультуры рыбную муку [2, 5, 11].

В литературе имеются данные о возможности частичной замены в комбикорме для объектов аквакультуры рыбной муки растительным белковым концентратом, мясокостной мукой из сельскохозяйственных животных и птицы [1, 7]. Однако этот вопрос остается малоизученным и требует дополнительных комплексных исследований. В связи с этим изучение влияния на рост, развитие, качественные показатели мяса осетров, уровень рентабельности его производства замены в комбикормах 25 % рыбной муки белковым концентратом из белого люпина в комплексе с мясокостной мукой из сельскохозяйственной птицы является актуальным.

В процессе исследований установлено, что при замене в комбикорме для осетровых рыб 25 % рыбной муки на белковый концентрат из белого люпина в комплексе с мясокостной мукой из сельскохозяйственной птицы наблюдалось незначительное снижение интенсивности роста молоди в опытной группе.

Особи опытной группы уступают по живой массе аналогам из контрольной на второй месяц исследований на 1,55 г (0,45 %), четвертый на 5,22 (0,84 %), и шестой на 7,31 (0,77 %).

За период опыта у молоди контрольной группы среднесуточный прирост живой массы был больше, чем у аналогов опытной группы, на 0,95 %, среднесуточный прирост – на 1,09 %.

По химическому составу были выявлены недостоверные различия в пользу особей контрольной группы. Сухого вещества в их мышцах содержалось больше, чем у сверстников из опытных групп, на 0,6 %, белка – на 0,5 %, жира – на 0,2 %, энергии – на 0,25 МДж. Данные исследований свидетельствуют о том, что введение в комбикорм для осетров 25 % белкового концентрата из люпина в комплексе с мясокостной мукой взамен рыбной не вызвало достоверного отрицательного влияния на продуктивные качества молоди.

Сохранность молоди за период эксперимента в опытной группе была меньше, чем в контроле, на 1,6 %. Ихтиомасса по контрольной группе при снятии с опыта была больше в сравнении с аналогами, получавшими комбикорм с концентратом из люпина в комплексе с мясокостной мукой на 2,56 %, а прирост ихтиомассы за опытный период был больше на 3,09 %.

В связи с более низкой стоимостью потребления кормов рыбой в опытной группе себестоимость производства их ихтиомассы была ниже, чем в контрольной, на 7,0 руб, а уровень рентабельности производства выше на 2,8 %.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования по изучению влияния замены в комбикормах для осетровых рыб рыбной муки на белковый концентрат из белого люпина в комплексе с мясокостной мукой из сельскохозяйственной птицы на интенсивность роста молоди сибирского осетра были проведены в «ИП Калмыков». Для проведения исследования было сформировано 2 групп молоди осетровых по 250 голов в каждой. Подопытная молодь содержалась в бассейнах и выращивалась согласно технологиям, используемым на предприятии. В контрольной группе постановочная средняя живая масса молоди составила 115,66 г, а в опытной – 116,20 г.

Молодь контрольной группы получала стандартные комбикорма, а опытная – комбикорм с заменой 25 % рыбной муки концентратом из белого люпина в комплексе с мясокостной мукой.

Результаты и обсуждение. В результате исследований установлено, что молодь опытной группы, получавшая комбикорм с заменой рыбной муки растительным концентратом и мясокостной мукой, на второй месяц выращивания по живой массе уступала аналогам из контроля на 1,55 г (0,45 %), четвертый – на 5,22 г (0,84 %) и шестой – на 7,31 г (0,77 %). Во все периоды роста молоди различия по живой массе по группам были недостоверными.

Таблица 1 – Живая масса подопытной молоди, г

Table 1 – Live weight of experimental juveniles, g.

Период испытания (месяц) / Test period (month)	Группа / Group	
	Контрольная / Control	Опытная / Experimental
Начало опыта / Start of experiment	115,66±9,74	116,20±10,11
1	233,13±10,08	232,39±12,56
2	362,99±12,36	361,44±11,10
3	501,57±14,19	498,34±12,07
4	660,70±13,60	655,18±12,98
5	811,04±14,72	804,82±11,68
6	952,22±15,06	944,91±13,81

Следует отметить, что характер изменения абсолютного прироста живой массы молоди по месяцам выращивания по группам был аналогичным. Так, в опытных группах абсолютный прирост массы тела рыб повышался до четвертого месяца испытаний,

а затем снижался. В контрольной группе рыб за первый месяц выращивания показатель абсолютного прироста живой массы составил 116,47 г. и четвертый 159,13 г. с разницей 42,66 г ($P>0,99$), в опытной – 116,19 и 156,84 г при разнице – 40,65 г ($P>0,99$).

Таблица 2 – Показатели абсолютного прироста живой массы молоди рыб, г

Table 2 – Indicators of absolute increase in live weight of juvenile fish, g

Период испытания (месяц) / Test period (month)	Группа / Group	
	Контрольная / Control	Опытная / Experimental
Начало опыта – 1 / Start of experiment – 1	116,47 ±3,42	116,19±4,90
1 – 2	130,86±4,18	129,05±3,86
2 – 3	138,58±4,60	136,90±4,12
3 – 4	159,58±4,60	156,84±4,67
4 – 5	150,34±4,42	149,64±3,95
5 – 6	141,18±5,93	140,09±4,88
Начало опыта – 6 / Start of experiment – 6	836,56±12,54	828,17±11,06

Абсолютный прирост живой массы молоди контрольной группы за весь опытный период равнялся 836,56 г, или был выше в сравнении с опытной на 7,85 г или 0,95 %. Наиболее информативным показателем интенсивности роста молоди может служить среднесуточный прирост. Анализ результатов опыта показал, что относительно низкие показатели среднесуточного прироста у молоди контрольной группы наблюдались в первый месяц исследования (3,88 г) и высокие – с третьего по четвертый месяц (5,30 г). У молоди опытной группы показатели среднесуточного прироста за соответствующий период составили 3,87 и 5,23 г. В результате за период выращивания среднесуточный прирост рыб контрольной группы был больше в сравнении с аналогами опытной на 0,05 г, или 1,09 %.

В процессе исследований установлено, что химический состав мяса осетров контрольной и опытной группы имел незначительные различия. Сухого вещества в мясе молоди контрольной группы было больше, чем у аналогов опытной группы, на 0,6 %, белка – на 0,3 %, жира – на 0,2 %, энергии – на 0,25 МДж.

Таблица 3 – Химический состав мяса молоди, %

Table 3 – The chemical composition of the flesh of juveniles, %

Показатель / Parameter	Группа / Group	
	Контрольная / Control	Опытная / Experimental
Энергетическая ценность 1 кг мякоти, (МДж) / Energy value of 1 kg of muscle, (MJ)	11,62±0,29	11,37±0,22
Влага / Moisture	73,9±0,37	74,5±0,42
Сухое вещество / Dry matter	26,1±0,37	25,5±0,42
Белок / Protein	13,8±0,21	13,5±0,26
Небелковые азотистые вещества / Non-protein nitrogenous substances	2,2±0,06	2,2±0,05
Жир / Fat	7,6±0,15	7,4±0,18
Зола / Ash	2,5±0,03	2,4±0,02

Результаты исследований показали, что замена в стандартном комбикорме для осетровых рыб 25 % рыбной муки на соответствующее количество белкового концентрата из люпина в комплексе с мясокостной мукой не оказывала достоверно отрицательного влияния на рост, развитие, химический и биохимический состав мяса молоди осетров.

За период производственного испытания сохранность молоди рыб составила по группам соответственно 92,0 и 90,4%. Ихтиомасса в контрольной группе была выше, чем в опытной на 5,46 кг, или 2,56 %. Прирост ихтиомассы за данный период составил в контрольной группе 190,10 кг, что выше, чем в опытной на 5,10 кг или 3,03 %.

Таблица 4 – Результаты использования изучаемых комбикормов

Table 4 – The results of used experimental feed

Показатель / Parameter	Группа / Group	
	Контрольная / Control	Опытная / Experimental
Поставлено поголовье рыб на испытание, гол. / The number of fish was put to the test, heads	250	250
Ихтиомасса при постановке на опыт, кг / Ichthyomass at start of experiment, kg	28,91±0,36	29,05±0,23
Снято поголовье рыб с испытания, гол. / The number of fish removed from the test, heads	230	226
Сохранность молоди, % / Preservation of juveniles, %	92,0	90,4
Ихтиомасса при снятии с испытания, кг / Ichthyomass in the end of experiment, kg	219,01±2,17	213,55±2,84
Прирост ихтиомассы, кг / The increase in ichthyomass, kg	190,10±2,16	184,50±3,08

Один из главных показателей эффективности использования той или иной разработки в производстве является экономическая целесообразность.

В результате расчетов установлено, что затраты кормов на 1 кг прироста ихтиомассы были выше у осетров опытной группы на 0,04 кг. Однако за счёт более низких затрат на корма общая сумма производственных затрат в опытной группе была меньше на 4231,1 руб. В связи с этим себестоимость производства 1 кг ихтиомассы в контрольной группе была выше чем в опытной на 7,0 руб.

Таблица 5 – Экономическая эффективность применения в кормлении молоди комбикормов с разным содержанием рыбной муки

Table 5 – Economic efficiency of the use in feeding juveniles of compound feeds with different contents of fish meal

Калькуляция / Calculation	Группа / Group	
	Контрольная / Control	Опытная / Experimental
Прирост ихтиомассы, кг / The increase in ichthyomass, kg	190,1	184,5
Затраты комбикорма на 1 кг прироста, кг / Feed costs per 1 kg of body weight, kg	1,38	1,42
Затрачено комбикорма за период производственной проверки, кг / Consumed combined feed during the production inspection period, kg	262,3	262,3
Стоимость затраченного корма, руб. / Cost of spent feed, rub.	9128,0	4896,9
Всего производственных затрат, руб. / Total production costs, rub.	86001,8	81770,7
Розничная стоимость 1 кг ихтиомассы, руб. / Selling price of 1 kg of ichthyomass, rub.	600	600
Себестоимость производства 1 кг ихтиомассы, руб. / Cost of production of 1 kg of ichthyomass, rub.	452,5	445,5
Выручка от реализации, руб. / Sales revenue, rub	114060,0	110700,0
Маржинальный доход от продаж, руб. / Marginal revenue from sales, rub.	28058,2	28929,3
Уровень рентабельности производства, % / Profitability level of production, %	32,6	35,4

Маржинальный доход от продажи рыбы в опытной группе в сравнении с контрольной был больше на 871,1 руб. Уровень рентабельности производства иктиомассы в опытной группе был выше, чем в контрольной на 2,8 %.

Заключение. Результаты исследования показали, что замена в комбикормах рыбной муки белковым концентратом из люпина в комплексе с мясокостной мукой в доле 25,0 % не вызывает значительного снижения интенсивности роста молоди осетровых и экономически целесообразна.

Библиографический список

1. Абдиев Ж. А., Фефелов В. В., Коломин Ю. М. Выращивание молоди осетровых рыб в бассейнах в условиях Северного Казахстана // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2011. № 7. С. 24-27.
2. Абросимова Н. А., Абросимов С. С., Саенко Е. М. Кормовое сырье и добавки для объектов аквакультуры. Азов. НИИ рыб. хоз-ва, Рост. фил. Моск. гос. ун-та технологии и упр. Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. 143 с.
3. Аламдари Х., Долганова Н. В., Пономарев С. В. Лечебно-профилактическое действие пробиотиков в составе стартерного комбикорма для осетровых рыб // Зоотехния. 2013. №5. С. 17-18.
4. Влияние различных комбикормов на морфофизиологические показатели молоди русского осетра, выращенной садковым методом/ Ю. В. Алымов, А. А. Кокоза, О. Н. Загребина, Б. В. Блинков // Фундаментальные исследования. 2012. №4 (1). С. 167-171.
5. Использование кормового концентрата из растительного сырья «Сарепта» в комбикормах для осетровых рыб / С. И. Николаев, В. Г. Дикусаров, Д. А. Ранделин, В. В. Шкаленко, А. К. Карапетян и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. №118(04). 2016. С. 1-14.
6. Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб. СПб: Изд-во «Лема», 2012. 564 с.
7. Пономарев С. В., Баканева Ю. М. Рост осетровых рыб в установке замкнутого водоснабжения при использовании новых сухих гранулированных кормов // Зоотехния. 2011. № 8. С. 27- 30.
8. Пономарев С. В., Грозеску Ю. Н., Бахарева А. А. Корма и кормление рыб в аквакультуре. М: МОРКНИГА, 2013. 417 с.
9. Banerjee K., Khemundu G. R. Total replacement of fishmeal with indigenously available ingredients from plant sources for culturing macrobrachium rosenbergii // Aquaculture. 2019. 512 doi:10.1016/j
10. Comparative study of the intestinal microbial community of wild and cultured kaluga sturgeon, huso dauricus / S. Lv, W. Zhao, Z. Shi, S. Wang, J. Wei // Aquaculture Research. 2018. Vol. 49(9). P. 2938-2944. doi:10.1111/are.13712
11. Effect of dietary DHA/EPA ratio on the early development, antioxidant response and lipid metabolism in larvae of Siberia sturgeon (acipenser baerii, brandt) / L. Luo., L. Ai, X. Liang, W. Xing, H. Yu, Y. Zheng, M. Xue // Aquaculture Nutrition. 2019. Vol. 25(1). P. 239-248. doi:10.1111/anu.12848
12. The effect of fish and rapeseed oils on growth performance, egg fatty acid composition and offspring quality of sterlet sturgeon (acipenser ruthenus) / S. Pourhosein Saramah, A. H. Bahri, B. Falahatkar, V. Yarmohammadi, A. Salarzadeh // Aquaculture Nutrition, 2019. Vol. 25(3). P. 543-554. doi:10.1111/anu.12856

References

1. Abdiev Zh. A., Fefelov V. V., Kolomin Yu. M. Vyraschivanie molodi osetrovyyh ryb v bassejnah v usloviyah Severnogo Kazahstana // Rybovodstvo i rybnoe ho-zyajstvo. 2011. № 7. P. 24-27.
2. Abrosimova N. A., Abrosimov S. S., Saenko E. M. Kormovoe syr'e i dobavki dlya ob'ektov akvakul'tury. Azov. NII ryb. hoz-va, Rost. fil. Mosk. gos. un-ta tehnologii i upr. Rostov-na-Donu: }verest, 2005. 143 p.

3. Alamdari H., Dolganova N. V., Ponomarev S. V. Lechebno-profilakticheskoe dejstvie probiotikov v sostave starternogo kombikorma dlya osetrovyyh ryb // Zootehniya. 2013. №5. P. 17-18.
4. Vliyanie razlichnyh kombikormov na morfofiziologicheskie pokazateli molodi russkogo osetra, vyraschennoj sadkovym metodom/ Yu. V. Alymov, A. A. Kokoza, O. N. Zagrebina, B. V. Blinkov // Fundamental'nye issledovaniya. 2012. №4 (1). P. 167-171.
5. Ispol'zovanie kormovogo koncentrata iz rastitel'nogo syr'ya "Sarepta" v kombikormah dlya osetrovyyh ryb / S. I. Nikolaev, V. G. Dikusarov, D. A. Randelin, V. V. Shkalenko, A. K. Karapetyan i dr. // Politematicheskij setevoy jlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. №118(04). 2016. P. 1-14.
6. Ostroumova I. N. Biologicheskie osnovy kormleniya ryb. SPb: Izd-vo "Lema", 2012. 564 p.
7. Ponomarev S. V., Bakaneva Yu. M. Rost osetrovyyh ryb v ustanovke zamknutogo vodosnabzheniya pri ispol'zovanii novyyh suhih granulirovannyh kormov // Zootehniya. 2011. № 8. P. 27- 30.
8. Ponomarev S. V., Grozesku Yu. N., Bahareva A. A. Korma i kormlenie ryb v akvakul'ture. M: MORKNIGA, 2013. 417 p.
9. Banerjee K., Khemundu G. R. Total replacement of fishmeal with indigenously available ingredients from plant sources for culturing macrobrachium rosenbergii // Aquaculture. 2019. 512 doi:10.1016/j
10. Comparative study of the intestinal microbial community of wild and cultured kaluga sturgeon, huso dauricus / S. Lv, W. Zhao, Z. Shi, S. Wang, J. Wei // Aquaculture Re-search. 2018. Vol. 49(9). P. 2938-2944. doi:10.1111/are.13712
11. Effect of dietary DHA/EPA ratio on the early development, antioxidant response and lipid metabolism in larvae of Siberia sturgeon (acipenser baerii, brandt) / L. Luo., L. Ai, X. Liang, W. Xing, H. Yu, Y. Zheng, M. Xue // Aquaculture Nutrition. 2019. Vol. 25(1). P. 239-248. doi:10.1111/anu.12848
12. The effect of fish and rapeseed oils on growth performance, egg fatty acid composition and offspring quality of sterlet sturgeon (acipenser ruthenus) / S. Pourhosein Saramah, A. H. Bahri, B. Falahatkar, V. Yarmohammadi, A. Salarzadeh // Aquaculture Nutrition, 2019. Vol. 25(3). P. 543-554. doi:10.1111/anu.12856

Информация об авторах

Николаев Сергей Иванович, заведующий кафедрой «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор сельскохозяйственных наук

ORCID: <https://orcid.org/0000-002-4076-1694> E-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Ранделин Дмитрий Александрович, заведующий кафедрой «Водные биоресурсы и аквакультура» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор биологических наук

E-mail: randelin_dm@mail.ru

Эльбияри Мохсен А.М.Я., аспирант Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26)

Elebiary Mohsen A.M.Y., Assistant lecturer, National Institute of Oceanography & Fisheries, Hurghada, Egypt (Egypt, Hurghada, Alahea region, Niof 102 home)

Кониева Оксана Николаевна, декан факультета среднего профессионального образования, Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова (РФ, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), кандидат сельскохозяйственных наук, E-mail: oksanakonieva@mail.ru

Суторма Роман Сергеевич, студент Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26)

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare non conflict of interest.

ПОЛУФАБРИКАТЫ РУБЛЕННЫЕ В ОБОЛОЧКЕ С МЯКОТЬЮ ТЫКВЫ И МУКОЙ ИЗ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА

SEMI-FINISHED PRODUCTS CHOPPED IN THE SHELL WITH THE PUMPKIN PUMP AND THE FLOUR FROM ROSE HIPS

В. Н. Храмова¹, доктор биологических наук, профессор

А. Д. Тимофеева¹, ассистент

Я. И. Храмова¹, соискатель

А. С. Филатов², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

V. N. Khramova¹, A. D. Timofeeva¹, Ya. I. Khramova¹, A. S. Filatov²

¹Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

²Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

¹Volgograd State Technical University

²Federal State Budget Scientific Institution

«Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products»

Дата поступления в редакцию 25.06.2019

Дата принятия к печати 15.11.2019

Received 25.06.2019

Submitted 15.11.2019

На сегодняшний день приоритетной задачей для производителей продуктов питания во всем мире является изготовление продукции с высокими потребительскими свойствами. В мясоперерабатывающей отрасли огромное место занимает производство различных полуфабрикатов – сегмент мясных полуфабрикатов увеличился на 18-20 %. Вектор современного мирового рынка производства мясных продуктов нацелен на разработку и выпуск продуктов функциональной направленности. В статье разобраны вопросы повышения пищевой и биологической ценности полуфабрикатов рубленых в оболочке (купат) с применением растительных компонентов – мякоти тыквы и муки из плодов шиповника. Подтверждена целесообразность использования растительного сырья в производстве купат, определено оптимальное количество вносимых растительных ингредиентов, исследованы физико-химические, санитарно-микробиологические показатели и определено содержание токсичных элементов в разработанных полуфабрикатах рубленых. Полученные данные позволили судить о положительном влиянии растительных ингредиентов на качественный и количественный состав полуфабрикатов.

Nowadays, the priority for food manufacturers around the world is the manufacture of products with high consumer properties. In the meat processing industry, a huge place is occupied by the production of various semi-finished products - the segment of semi-finished meat products increased by 18-20%. The vector of the modern global market for the production of meat products is aimed at the development and production of functional products. The article discusses the issues of increasing the nutritional and biological values of semi-finished products chopped in a shell (kukat) using plant components - pumpkin pulp and flour from rose hips. The feasibility of using plant materials in the production of kupat was confirmed, the optimal amount of plant ingredients introduced was determined, the physicochemical, sanitary and microbiological parameters were studied, and the content of toxic elements in the developed chopped processed foods was determined. The data obtained made it possible to judge the positive effect of plant ingredients on the qualitative and quantitative composition of semi-finished products.

Ключевые слова: полуфабрикаты рубленые, купаты, тыква, шиповник, витамин С.

Key words: chopped semi-finished products, kupat, pumpkin, Rose Hip, vitamin C

Цитирование. Храмова В. Н., Тимофеева А. Д., Храмова Я. И., Филатов А. С. Полуфабрикаты рубленые в оболочке с мякотью тыквы и мукой из плодов шиповника. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56).153-161. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-19.

Citation. Khramova V. N., Timofeeva A. D., Khramova Ya. I., Filatov A. S. Semi-finished products chopped in the shell with the pumpkin pump and the flour from rose hips. *Proc. Of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 153-161 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-19.

Введение. Согласно принципам пищевой комбинаторики и сбалансированного питания в рацион человека необходимо включать все эссенциальные пищевые компоненты. На сегодняшний день проблемой всех цивилизованных стран является недостаточное употребление необходимых питательных веществ. Разрабатывая продукты питания, обогащенные эссенциальными компонентами, можно решить данную проблему.

Мясо и мясные продукты являются необходимыми продуктами питания в рационе каждого человека. В среднем на душу населения потребление мясопродуктов в 2018 году в Российской Федерации по данным Росстата составило порядка 76 кг в год. На сегодняшний день спрос на мясные продукты неустанно возрастает, однако препятствием для резкого увеличения потребления данного вида продукции является высокая стоимость [3].

На примере мясопродуктов установлено, что продукты функциональной направленности разумно вырабатывать на основе взаимодополнения рецептуры растительными компонентами. Разработка рецептур купат, предполагающих внесение растительных ингредиентов сверх мясного сырья, является перспективным путем решения проблемы увеличения доступности мясных продуктов для всех слоев населения, расширения ассортиментной линейки, увеличения выхода готовой продукции и повышения пищевой и биологической ценности [6, 9].

Перспективным растительным сырьем являются тыква и шиповник. Мякоть тыквы представляет собой волокнистую структуру, которая состоит из полисахаридов, пектиновых веществ и лигнина. Она обогащена пектином, каротином, клетчаткой и ферментами, содержит витамины группы В, аскорбиновую кислоту, токоферол, ретинол. Также мякоть тыквы богата минеральными веществами, такими как медь, железо, калий, магний, фосфор, кальций. Растительные пищевые волокна тыквы очень полезны для организма человека [10]. Этими волокнами питаются анаэробные бактерии. Они повышают ферментативное переваривание пищи, подавляют развитие болезнетворных микроорганизмов в кишечнике, в том числе гнилостных бактерий, БГКП, сальмонелл, энтерококков.

Плоды шиповника богаты аскорбиновой кислотой, по сравнению с черной смородиной и лимоном в шиповнике витамина С больше в 10 и 50 раз соответственно. К тому же плоды обогащены рутином, тиамин, токоферолом, каротином и витамином К, а также флавоноловыми гликозидами, кемпферолом и кверцетином, дубильными веществами, пектинами, органическими кислотами, значительным количеством солей калия, микроэлементами [11].

На основании всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что разработка рациональной технологии применения тыквы и шиповника в производстве полуфабрикатов рубленых представляет определенный научный и практический интерес. Разработанная технология позволит укрепить сырьевую базу мясной промышленности, расширить ассортиментную линейку полуфабрикатов рубленых в оболочке, а также способствовать удовлетворению потребностей населения. Целью работы явилась разработка инновационной рецептуры и технологии производства купат. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: подбор вносимых растительных компонентов в оптимальном количестве, определение органолептических и физико-химических характеристик, показателей безопасности, содержания витамина С в охлажденном продукте и в продукте, доведенном до кулинарной готовности, определение выхода продукции.

Материалы и методы. В связи с изучением влияния растительных ингредиентов на органолептические, физико-химические и микробиологические показатели качества купат была разработана рецептура полуфабрикатов рубленых и выработаны опытные образцы.

Объектами исследований служили контрольный образец – полуфабрикаты рубленые в оболочке, изготовленные согласно ТУ 9214-001-75238481-09 «Полуфабрикаты мясные рубленые», и опытный образец – полуфабрикаты рубленые в оболочке, изготовленные согласно ТУ 9214-001-75238481-09, с добавлением в рецептуру мякоти тыквы и муки из плодов шиповника.

Перспективность использования тыквы и шиповника в рецептуре полуфабрикатов рубленых определялась химическим составом растительного сырья. Главным преимуществом является их витаминный и минеральный состав. Плоды шиповника содержат большое количества аскорбиновой кислоты, витамина А, кальция и железа, тыква же также богата витамином А, калием и магнием [8].

Исследование физико-химических показателей полуфабрикатов рубленых с применением растительного сырья было проведено по общепринятым методикам: содержание белка – методом Кьельдаля (ГОСТ 25011-81); содержание углеводов – методом, основанном на способности редуцирующих углеводов восстанавливать в щелочной среде железосинеродистый в железистосинеродистый калий (ГОСТ 31470-2012); влаги – методом высушивания (ГОСТ 9793-74); жира – методом экстрагирования липидов органическими растворителями из образца (ГОСТ 23042-86); содержание витамина С – методом количественного перевода аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую с последующим ее определением. Исследование микробиологических показателей полуфабрикатов рубленых в оболочке проводилось путем разведения навески продукта в питательную среду, инкубировании посевов и подсчете всех выросших видимых колоний (ГОСТ р 54354-2011). Определение содержания тяжелых металлов в полуфабрикатах было проведено методом, который основан на минерализации продукта способом сухого озоления и установлении концентрации элемента в растворе минерализата методом пламенной атомной абсорбции (ГОСТ 30178-96).

Результаты и обсуждение. На начальном этапе была подобрана рецептура полуфабрикатов рубленых в оболочке и определено оптимальное количество вносимых растительных ингредиентов. В рецептуру купат входит свинина жирная, репчатый лук, чеснок, уксус столовый 9%, соль поваренная пищевая, перец черный молотый, мякоть тыквы и гидратированная мука из плодов шиповника. Опытным путем было установлено оптимальное количество вносимых растительных ингредиентов. В таблице 1 приведены значения процентного содержания растительных компонентов в четырех выработанных образцах.

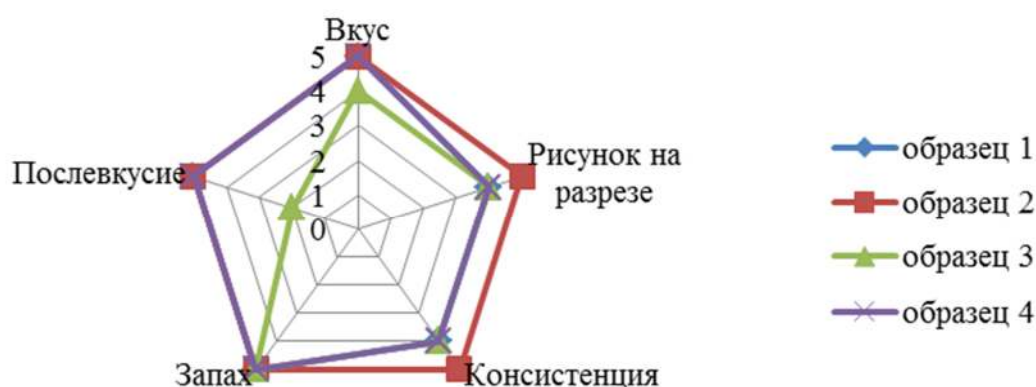
Таблица 1 – Количество растительных компонентов в рецептуре купат

Table 1 – Number of plant components in the formulation of kupat

Растительное сырье/Plant material	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Мякоть тыквы, % сверх мясного сырья/Pulp of pumpkin,% over meat	5	7	10	7
Мука из плодов шиповника, % сверх мясного сырья/Flour from rosehips,% over meat raw materials	5	7	10	5

Образцы, представленные в таблице 1, были выработаны и подвержены тепловой обработке с целью доведения их до кулинарной готовности. У готовых полуфабрикатов рубленых с различным процентным соотношением в них растительных компо-

нентов были определены органолептические характеристики, и для наглядности в дальнейшем была построена профилограмма, представленная на рисунке 1. Наилучшими показателями обладал образец 2 – в меру сочный, с приятным ароматом, без посторонних привкусов, с красивым рисунком на разрезе. Образцы 1 и 4 незначительно отличались от контрольного, не имеющего в своем составе тыквы и муки из плодов шиповника. Образец 3 обладал наихудшими органолептическими характеристиками, так как 10 % муки из плодов шиповника отрицательно влияют на показатели продукта – чувствовались крупинки муки, которые вызывают неприятные ощущения при пережевывании купат. По итогу проведения органолептической оценки выработанных образцов было установлено, что оптимальное количество вносимых растительных ингредиентов в рецептуру купат составляет 7 % мякоти тыквы и 7 % муки из плодов шиповника сверх рецептуры [1].



Note: Вкус – Taste, Послевкусие – Aftertaste, Запах – Odor, Консистенция – Consistency, Рисунок на разрезе – Cross-sectional drawing, Образец 1, 2, 3, 4, 5 – sample 1, 2, 3, 4, 5

Рисунок 1 – Профилограмма органолептической оценки выработанных образцов

Figure 1 - Profilogram of organoleptic evaluation of developed samples

Технология изготовления полуфабрикатов рубленых в оболочке схожа со стандартной, отличается лишь подготовкой растительных компонентов и их внесением в состав. Тыкву предварительно промывают, очищают и измельчают, плоды шиповника – измельчают на коллоидной мельнице. Затем перед введением в фарш муку из плодов шиповника предварительно гидратируют водой в соотношении 2 : 1. Гидратирование муки способствует ее лучшему распределению по продукту.

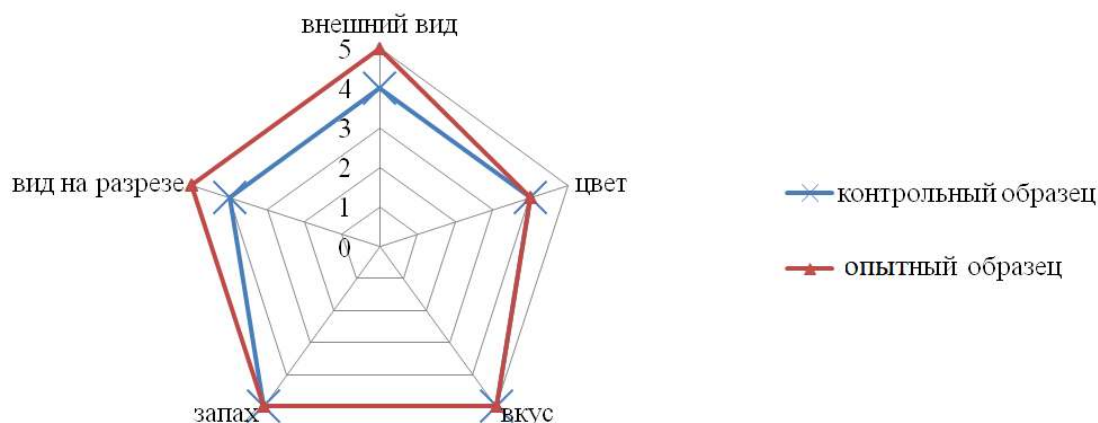
После выработки опытного и контрольного образцов была проведена органолептическая оценка с применением профильного метода по ГОСТ 9959-91 «Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки». При проведении оценивания были учтены следующие показатели: вкус, запах, цвет, внешний вид и вид на разрезе. Результаты исследования влияния растительных компонентов на органолептические характеристики качества контрольного и опытного образцов представлены в таблице 2 и на рисунке 2 в виде профилограммы.

На основании органолептической оценки установлено, что внесение мякоти тыквы и муки из плодов шиповника в количестве 7 % сверх мясного сырья не сказывается отрицательно на органолептических характеристиках опытного образца. Изделия становятся более сочными, с приятным вкусом, ароматом и видом на разрезе, к тому же увеличивается выход готового продукта [2].

Таблица 2 – Органолептические характеристики выработанных образцов

Table 2 – Organoleptic characteristics of the developed samples

Показатель / Index	Характеристика / Characteristic	
	для опытного образца / for prototype	для контрольного образца / for control
Внешний вид / Appearance	измельченная однородная масса без костей, хрящей, сухожилий, грубой соединительной ткани, кровяных сгустков и пленок, равномерно перемешана / crushed homogeneous mass without bones, cartilage, tendons, coarse connective tissue, blood clots and films, evenly mixed	
Вид на разрезе / Sectional view	фарш хорошо перемешан, масса однородная с включением ингредиентов рецептуры / minced meat is well mixed, the mass is homogeneous with the inclusion of ingredients	фарш хорошо перемешан, масса однородная / minced meat is well mixed, homogeneous mass
Цвет / Colour	серо-розовый с оранжевыми включениями / gray pink with orange inclusions	серо-розовый / gray pink
Запах / Smell	с ароматом уксуса, мясной, без посторонних запахов / with aroma of vinegar, meat, odorless	
Вкус / Taste	мясной, солоноватый, без посторонних привкусов / meaty, brackish, without extra neous flavors	



Note: внешний вид – appearance, вид на разрезе – sectional view, запах – smell, вкус – taste, цвет – color, контрольный образец – control sample, опытный образец – prototype

Рисунок 2 – Профилограмма общей органолептической оценки контрольного и опытного образцов

Figure 2 – Profilogram of the general organoleptic evaluation of the control and experimental samples

Опытный и контрольный образцы полуфабрикатов рубленых были подвергнуты следующим исследованиям: определение массовой доли белка, углеводов, липидов, влаги, тяжелых металлов, аскорбиновой кислоты, определение микробиологических показателей, расчет выхода готовой продукции. Полученные значения физико-химических показателей выработанных образцов представлены в таблице 3. Из приведенных данных очевидно, что в опытном образце присутствуют углеводы, снижена массовая доля жира и увеличена массовая доля белка и влаги.

Таблица 3 – Физико-химические показатели полуфабрикатов рубленых в оболочке

Table 3 – Physico-chemical characteristics of the semi-finished products chopped in the shell

Наименование показателей качества продукции по нормативной документации (НД) / Name of indicators of product quality according to normative documentation (ND)	Наименование НД, регламентирующая методику испытаний / Name of ND, regulating the test procedure	Значение показателей качества по НД / The value of quality indicators for ND	Фактическое значение показателей / The actual value of indicators	
			Контроль / control	Опыт / experience
Массовая доля углеводов в пересчете на глюкозу, % / Mass fraction of carbohydrates in terms of glucose, %	ГОСТ 31470-2012 / GOST 31470-2012	–	–	5,2±0,7
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	ГОСТ 23042-86 / GOST 23042-86	32	24,3±0,1	15,9±0,1
Массовая доля влаги, % / Moisture content, %	ГОСТ 9793-74 / GOST 9793-74	–	56,2±0,2	64,2±0,2
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	ГОСТ 25011-81 / GOST 25011-81	10	10,9±0,3	11,2±0,3
Массовая доля поваренной соли, % / Mass fraction of salt, %	ГОСТ 9957-73 / GOST 9957-73	1,4	1,3±0,1	1,3±0,1

Для установления эффективности применения в рецептуре купат муки из плодов шиповника было определено содержание аскорбиновой кислоты в охлажденном и в готовом продукте после тепловой обработки. Опыт проводили методом количественного перевода аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую с последующим ее определением. Результаты исследования представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание витамина С в расчете на 100 г продукта

Table 4 – Vitamin C content per 100 g of product

Наименование показателя / Name of indicator	Фактическое значение показателя / The actual value of the indicator				Суточная потребность, мг / сут / Daily re- quirement mg / day
	контрольный образец / control sample		опытный образец / prototype		
	Фарш / minced meat	готовый продукт / finished prod- uct	Фарш / minced meat	готовый продукт / finished prod- uct	
Массовая доля аскорбино- вой кислоты, мг / Mass fraction of ascorbic acid, mg	—	—	25,5±0,1	21,4±0,2	70-80

Витамин С легко окисляется до дегидроаскорбиновой кислоты, но в присутствии уксусной кислоты окисление значительно замедляется [4, 12]. Среднесуточное потребление человеком витамина С составляет лишь 40-50 мг, по данным таблицы очевидно, что употребление 100 г полуфабрикатов рубленых позволит восполнить суточную потребность в аскорбиновой кислоте на 27 %, что придает продукту функциональную направленность.

Для определения безопасности полуфабрикатов рубленых в оболочке с применением растительного сырья были изучены содержание тяжелых металлов и санитарно-микробиологические показатели, результаты исследований представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Микробиологические показатели купат

Table 5 – Microbiological indicators of kupat

Показатель / Indicator	Значение / Value	Норма по ТР ТС 021/2011 / Norm according to TR CU 021/2011
КМАФАнМ, КОЕ/г не более / Number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorgan- isms, CFU / g no more	$9,2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
Патогенные, в т.ч. / Pathogenic, including <i>Salmonella</i>	не обнаружены / not detected	в 25 г не допускается / in 25 g is not allowed
<i>L. monocytogenes</i>	не обнаружены / not detected	в 25 г не допускается / in 25 g is not allowed

Таблица 6 – Содержание тяжелых металлов в полуфабрикатах рубленых

Table 6 – Content of heavy metals in chopped semi-finished products

Наименование показателей качества продукции по НД / Name of indicators of product quality according to ND	Значение показателей каче- ства по НД / Value of quality indicators according to ND	Фактическое значение показателей / Actual value of indicators
Массовая доля цинка, мг/кг / Mass fraction of zinc, mg / kg	1-100	$0,22 \pm 0,02$
Массовая доля меди, мг/кг / Mass fraction of copper, mg / kg	0,5-30	$0,16 \pm 0,02$
Массовая доля свинца, мг/кг / Mass fraction of lead, mg / kg	0,01-0,5	$0,01 \pm 0,001$
Массовая доля кадмия, мг/кг / Mass fraction of cadmium, mg / kg	0,01-0,05	не обнаружено / not detected

Данные таблицы 5 свидетельствуют о том, что выработанный опытный образец полуфабрикатов рубленых по перечисленным показателям считается безопасным. Содержание КМАФАнМ, патогенных микроорганизмов и *L. monocytogenes* не превышают допустимых значений согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Таким образом, санитарно-микробиологические показатели опытного образца находятся в норме.

Посредством нутриентного несоответствия (количественного и качественного) потребностям организма человека употребление мясных продуктов питания может неблагоприятно сказываться на здоровье человека. Исходя из этого было проведено исследование на содержание тяжелых металлов в продукте (таблица 6). Результаты исследования свидетельствуют о том, что все представленные значения содержания токсичных элементов не превышают предельно допустимых значений согласно ТР ТС 021/2011 [13].

Добавление растительного сырья в рецептуру полуфабрикатов рубленых в оболочке положительно повлияло не только на органолептические и физико-химические показатели, но и на выход готового продукта [5, 7]. Выход опытного образца в сравнении с контрольным увеличился со 101% до 108,3 %. Это объясняется внесением растительных компонентов в состав полуфабрикатов рубленых сверх рецептуры на 7 %.

Заключение. Таким образом, экспериментально подтверждено, что использование такого растительного сырья, как тыква и плоды шиповника, в рецептуре полуфабрикатов рубленых в оболочке положительно влияет на потребительские свойства полу-

фабрикатов, способствует повышению их пищевой и биологической ценностей, является безопасным по санитарно-микробиологическим показателям и по содержанию токсичных элементов, способствует увеличению выхода готового продукта, а также приданию полуфабрикатам рубленным функциональной направленности за счет обогащения витамином С [5].

Библиографический список

1. Влияние растительных компонентов на характеристики полуфабрикатов рубленных в оболочке / А. Д. Тимофеева, В. Н. Храмова, К. С. Федосеев, В. В. Пузанова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 245-251.
2. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Бушуева И. С. Улучшение потребительских свойств мясных продуктов за счет биологически активных веществ // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 5. С. 32-33.
3. Кондратьева Н. Н. Рынок мяса в России : текущая ситуация и перспективы // Вестник НГИЭИ. 2017. №6. С. 75-81.
4. Мурашев С. В. Изменение содержания аскорбиновой кислоты при хранении и переработке // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 41. С. 64-68.
5. Новые подходы к повышению пищевой и биологической ценности мясных и молочных продуктов: монография / М. И. Сложенкина, И. Ф. Горлов, В. Н. Храмова, Е. В. Карпенко, Л. Ф. Григорян // Волгоградский государственный технический университет, 2017. 140 с.
6. Новые тенденции в разработке и производстве мясной и молочной продукции повышенной биологической ценности : монография / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, В. Н. Храмова, О. П. Серова, А. А. Короткова, Л. Ф. Григорян, И. В. Мгебришвили, Н. И. Мосолова, Е. Ю. Злобина; ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции», ФГБОУ ВО «Волгоградский гос. техн. ун-т». Волгоград, 2018. 119 с.
7. Полуфабрикаты рубленные, обогащённые растительными компонентами / В. Н. Храмова, И. Ф. Горлов, И. П. Жирновников, А. О. Жирновникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1. С. 249-254.
8. Преимущества использования регионального сырья при производстве полуфабрикатов рубленных в оболочке / А. Д. Черкунова, В. Н. Храмова, И. В. Мгебришвили, Т. Ю. Животова // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 3 (46). С. 82-88.
9. Прянишников В. В., Леонова А. В. Шашлыки, купаты, колбаски для жарки по инновационным технологиям // Птица и птицепродукты. 2013. №3. С. 58-59.
10. Самченко О. Н., Каленик Т. К., Вершинина А. Г. Использование тыквы при производстве мясных рубленных полуфабрикатов // Техника и технология пищевых производств. 2012. Т. 2. № 25. С. 84-88.
11. Храмова В. Н., Проскурина В. А., Долгова В. А. Разработка продуктов функционального назначения с использованием регионального сырья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 2 (30). С. 164-168.
12. Ascorbic acid oxidation of thiol groups from dithiotreitol is mediated by its conversion to dehydroascorbic acid / Nilda B. V. Barbosa, Leonardo A. Lissner, Claudia V. Klimaczewski, Elisangela Colpo, Joao B. T. Rocha // EXCLI Journal. 2012. №11. P. 604-612.
13. The Use of Extruded Food Additives When Creating Specialized Foods / I. F. Gorlov, I. M. Volokhov, V. N. Khramova, M. I. Slozhenkina, J. V., Avdalyan, O. P. Serova, V. N. Makarenko, A. E. Serkova, Yu. D. Edifice, N.F. Schegolkov // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) (India). 2018. Vol. 9, Issue 13 (December). P. 1122-1129.

Reference

1. Vliyanie rastitel'nykh komponentov na harakteristiki polufabrikatov rub-lennykh v obolochke / A. D. Timofeeva, V. N. Hramova, K. S. Fedoseev, V. V. Puzanova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa : nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 2 (50). P. 245-251.

2. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Bushueva I. S. Uluchshenie potrebitel'skikh svoystv myasnykh produktov za schet biologicheskikh aktivnykh veshchestv // *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya*. 2013. № 5. P. 32-33.
3. Kondrat'eva N. N. Rynok myasa v Rossii : tekushchaya situatsiya i perspektivy // *Vestnik NGI*. 2017. №6. P. 75-81.
4. Murashev S. V. Izmenenie soderzhaniya askorbinovoy kisloty pri hranenii i pererabotke // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. № 41. P. 64-68.
5. Novye podhody k povysheniyu pischevoj i biologicheskoy cennosti myasnykh i molochnykh produktov: monografiya / M. I. Slozhenkina, I. F. Gorlov, V. N. Hramova, E. V. Karpenko, L. F. Grigoryan // *Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet*, 2017. 140 p.
6. Novye tendentsii v razrabotke i proizvodstve myasnoj i molochnoj produktsii povyshennoj biologicheskoy cennosti : monografiya / I. F. Gorlov, M. I. Slozhenkina, V. N. Hramova, O. P. Serova, A. A. Korotkova, L. F. Grigoryan, I. V. Mgebrishvili, N. I. Mosolova, E. Yu. Zlobina; FGBNU «Povolzhskiy NII proizvodstva i pererabotki myasomolochnoj produktsii», FGBOU VO «Volgogradskiy gos. tehn. un-t». Volgograd, 2018. 119 p.
7. Polufabrikaty rublennye, obogaschjonnnye rastitel'nymi komponentami / V. N. Hramova, I. F. Gorlov, I. P. Zhirnovnikov, A. O. Zhirnovnikova // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe ob-razovanie*. 2016. № 1. P. 249-254.
8. Preimuschestva ispol'zovaniya regional'nogo syr'ya pri proizvodstve polufabrikatov rublennykh v obolochke / A. D. Cherkunova, V. N. Hramova, I. V. Mgebrishvili, T. Yu. Zhivotova // *Tehnika i tehnologiya pischevykh proizvodstv*. 2017. № 3 (46). P. 82-88.
9. Pryanishnikov V. V., Leonova A. V. Shashlyki, kupaty, kolbaski dlya zharki po innovatsionnym tehnologiyam // *Ptica i pticeprodukty*. 2013. №3. P. 58-59.
10. Samchenko O. N., Kalenik T. K., Vershinina A. G. Ispol'zovanie tykvy pri proizvodstve myasnykh rublennykh polufabrikatov // *Tehnika i tehnologiya pischevykh proizvodstv*. 2012. T. 2. № 25. P. 84-88.
11. Hramova V. N., Proskurina V. A., Dolgova V. A. Razrabotka produktov funktsional'nogo naznacheniya s ispol'zovaniem regional'nogo syr'ya // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa : nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2013. № 2 (30). P. 164-168.
12. Ascorbic acid oxidation of thiol groups from dithiotreitol is mediated by its conversion to dehydroascorbic acid / Nilda B. V. Barbosa, Leonardo A. Lissner, Claudia V. Klimaczewski, Elisangela Colpo, Joao B. T. Rocha // *EXCLI Journal*. 2012. №11. P. 604-612.
13. The Use of Extruded Food Additives When Creating Specialized Foods / I. F. Gorlov, I. M. Volokhov, V. N. Khramova, M. I. Slozhenkina, J. V., Avdalyan, O. P. Serova, V. N. Makarenko, A. E. Serkova, Yu. D. Edifice, N.F. Schegolkov // *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) (India)*. 2018. Vol. 9, Issue 13 (December). P. 1122-1129.

Информация об авторах

Храмова Валентина Николаевна, профессор кафедры «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета (РФ, 400005, Волгоград, пр. им. В.И.Ленина, 28), доктор биологических наук, декан факультета «Технология пищевых производств», hramova_vn@vstu.ru

Тимофеева Анастасия Дмитриевна, ассистент кафедры «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета (РФ, 400005, Волгоград, пр. им. В.И.Ленина, 28), timcher1909@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4240-7223>

Храмова Ярославна Игоревна, соискатель кафедры «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета (РФ, 400005, Волгоград, пр. им. В.И.Ленина, 28), yaroslavnahramova222@gmail.com

Филатов Александр Сергеевич, главный научный сотрудник отдела по хранению и переработке сельскохозяйственной продукции Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции (РФ, 400131, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), доктор сельскохозяйственных наук, профессор ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3550-4324> E-mail: niimmp@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 619:618.7:636.2.034

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-20

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ
ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ
ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЕПРОДУКТИВНЫХ ОРГАНОВ
У КОРОВ В ПУЭРПЕРАЛЬНЫЙ ПЕРИОД**

**EFFICIENCY OF USING ADDRESSED DELIVERY OF MEDICINES FOR
PREVENTION OF INFLAMMATORY DISEASES OF COWS' REPRODUCTIVE
ORGANS IN THE PERPERAL PERIOD**

В. Д. Кочарян, кандидат биологических наук, доцент

К. А. Баканова, ассистент

С. П. Перерядкина, кандидат ветеринарных наук, доцент

Н. С. Файзулина, аспирант

V. D. Kocharyan, K. A. Bakanova, S. P. Pereryadkina, N. S. Fayzulina

Волгоградский государственный аграрный университет

Volgograd State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 30.10.2018

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received 30.10.2018

Submitted 20.12.2019

Исследование выполнено в рамках актуальных вопросов развития ветеринарной медицины, в частности, ветеринарного акушерства. Данные исследования предполагают теоретическое обоснование и разработку новых способов профилактики послеродовых заболеваний половых органов у коров, а также возможность практического применения данного способа в условиях хозяйств Волгоградской области. Цель исследования заключается в изыскании новых и усовершенствовании имеющихся профилактических мероприятий при послеродовой патологии у молочных коров путем применения биопрепаратов фетоплацентарного комплекса и обоснования их использования. Объектом исследования служат коровы голштино-фризской породы, а также голштинизированной симментальской породы, в возрасте 4-7 лет, живой массой более 600 кг. Для исследования подбирали коров с продуктивностью от 3500 до 6000 кг. Основным критерием возникновения послеродовых осложнений является состояние половых органов в период родов. Описаны стадии и этапы родовой деятельности коров, которые тесно связаны с их молочной продуктивностью. Раскрыта распространенность акушерских патологий у коров в хозяйствах Волгоградской области в зависимости от степени молочной продуктивности коров. В существующую схему профилактики акушерских патологий включено применение биологических препаратов на основе пептидных биорегуляторов. Установлена эффективность применения биоконтейнера для профилактики акушерско-гинекологических патологий органов размножения после патологических родов у животных с различным уровнем лактации. Отмечено влияние биопрепарата на воспроизводительную способность коров с учетом количества дней бесплодия и индекса осеменения. Раскрыта возможность применения данного способа профилактики как комплексного подхода организации профилактических мероприятий по борьбе с бесплодием коров в пуэрпериальный период.

The study was carried out in the framework of urgent issues of development of veterinary medicine, specifically veterinary obstetrics. These studies suggest a theoretical justification and development of new methods for the prophylaxis of postpartum genital diseases in cows, as well as the possibility of practical application of this method in the conditions of farms of the Volgograd region. The purpose of the study is to find new and improve existing preventive measures for postpartum pathology in dairy cows by using biological preparations of the fetoplacental complex and justifying their use. The object of the study are cows of Holstein-Friesian breed, as well as Holsteinized Simmental breed, aged 4-7 years, with a live weight of more than 600 kg. Cows with productivity from 3500 to 6000 kg were selected for the study. The main criteria for the occurrence of postpartum complications is the

condition of the genital organs during childbirth. The stages and stages of labor of cows are described, which are closely related to their milk production. The prevalence of obstetric pathologies in cows at farms of the Volgograd region is revealed, depending on the degree of milk production of cows. The existing scheme for the prevention of obstetric pathologies includes the use of biological preparations based on peptide bioregulators. The effectiveness of the use of a biocontainer for the prevention of obstetric-gynecological pathologies of the reproductive organs after pathological birth in animals with different levels of lactation has been established. The effect of the biological product on the reproductive ability of cows was noted taking into account the number of days of infertility and the insemination index. The possibility of using this method of prevention as an integrated approach to the organization of preventive measures to combat cow infertility in the puerperal period is disclosed.

Ключевые слова: акушерско-гинекологические патологии коров, коровы, воспалительные заболевания половых органов коров, биоконтейнер, пептидные биорегуляторы, пуэрперальный период.

Key words: obstetric and gynecological pathology, cows, inflammatory diseases of the genital organs, prevention, «Biocontainer», peptide bioregulator, puerperal period.

Цитирование. Кочарян В. Д., Баканова К. А., Перерядкина С. П., Файзулина Н. С. Эффективность применения адресной доставки лекарственных средств для профилактики воспалительных заболеваний репродуктивных органов у коров в пуэрперальный период. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 163-170. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-20.

Citation. Kocharyan V. D., Bakanova K. A., Pereryadkina S. P., Faizulina N.S. Efficiency of using addressed delivery of medicines for prevention of inflammatory diseases of cows' reproductive organs in the perperal period. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 163-170 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-20.

Введение. В условиях современной экономики функционирование агропромышленного комплекса имеет негативные тенденции в развитии скотоводства. Молочное скотоводство является одной из основных отраслей животноводства. В настоящее время ввиду интенсификации молочного производства регистрируется снижение показателей продуктивности [1, 6].

Вопросы коррекции послеродовых патологий широко распространены среди поголовья молочных коров. Недостаточная информативность и фрагментарность имеющихся данных о процессах инволюции, протекающих в половых органах у коров, передают не полную картину акушерско-гинекологических патологий. В виду этого существующие лечебно-профилактические мероприятия не всегда эффективны и результативны [3, 4, 10].

Как известно, предупреждение болезней репродуктивной системы достигается комплексом профилактических мероприятий. Профилактика воспалительных заболеваний репродуктивных органов у коров в пуэрперальный период представляет актуальную проблему в современном молочном скотоводстве. Отсутствие профилактики ведет к возникновению на молочных фермах неспецифических воспалительных заболеваний половых органов у коров, ведущих к бесплодию маточного поголовья, в результате чего появляется большой процент животных, подлежащих выбраковке.

В то время как проблема воспалительных заболеваний принимает массовый характер, остро встает вопрос необходимости профилактирования данного процесса современными препаратами. В ветеринарии давно назрела объективная необходимость использования биологических лекарственных средств — эффективных и безвредных, благодаря которым можно обеспечить оказание помощи без нанесения организму дополнительных повреждений. Современные ветеринарные специалисты для коррекции и лечения акушерско-гинекологических патологий рекомендуют применять ши-

рокий спектр различных препаратов: антибиотики различных классов и рядов, гормональные препараты. Но по данным ряда авторов, применение данных средств может привести к накоплению их в молоке, что может ограничить его применение на неопределённый срок [7, 8].

На сегодняшний день существуют экологически безопасные и безвредные профилактические препараты [2, 5, 9]. Профилактическая эффективность данных препаратов выражается в наличии в них биологически активных веществ, по своему строению сходных с организмом животных.

Материалы и методы. Исследования проводили в условиях животноводческих комплексов Волгоградской области и на кафедре «Акушерство и терапия» ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ. Объектом исследования были коровы голштинской породы, а также голштинизированная симментальская порода с разной молочной продуктивностью. Среднесуточный удой в хозяйствах составлял 15,3 кг, среднегодовой надой на одно животное составляет 5318 кг. Состояние воспроизводства в указанных хозяйствах было изучено по ветеринарной отчётности и журналам оператора по искусственному осеменению.

Для изучения течения родового и послеродового периодов мы подобрали клинически здоровых коров, аналогичных по количеству родов, живой массе и возрасту. Данные животные были сформированы в две группы по 20 голов каждая. За животными вели наблюдение от начала сухостойного периода, во время отёла и в послеродовой период.

Определение сравнительной эффективности биопрепарата для оптимизации послеродового периода проводили на двух группах коров по 15 голов в каждой. Животные были поделены на группы в соответствии с показателями их удоёв: среднеудойные и высокоудойные, коровам опытных групп применялся плацентарный биопрепарат. Влияние данного препарата на протекающие инволюционные процессы в репродуктивных органах и организма в целом оценивали по клиническим, анатомическим и акушерско-гинекологическим исследованиям.

Установление общих показателей клинического состояния животных, таких как температура, частота дыхания и сердечных сокращений, количество руминаций, проводили в день отёла до введения препарата и через 5 часов после введения по общепринятым в клинической практике методикам. На протяжении опытного периода также учитывали общеклиническое состояние животного. Морфо-функциональные и анатомические изменения репродуктивных органов в послеродовом периоде определяли на 3, 7, 14 и 27 сутки после отёла общепринятыми методами в ветеринарной практике. Учитывали продолжительность и характер истечений, определяли сроки прекращения вибрации средних маточных артерий, сроки инволюции шейки матки, регрессии желтого тела беременности, восстановление топографии тела и рогов матки. При вагинальном исследовании определяли состояние слизистой оболочки влагалища и влагалищной части шейки матки, степень раскрытия ее канала (по Т. М. Кажановой, 1989). Регистрировали сроки проявления полового цикла, оплодотворяемость коров от первого, повторного и последующих осеменений, количество дней бесплодия, индекс осеменения.

Результаты, полученные за время проведения опытов, подвергали биометрической и математической обработке при помощи программы Windows XP, Microsoft Excel 2013, с вычислением критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Как известно, возникновению и развитию патологии органов размножения у высокопродуктивных коров в большой мере способствует состояние половых органов непосредственно в период родов, а также в послеродовой период. В наших исследованиях нами были изучены особенности течения родов и послеродового периода. Данные отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели, характеризующие течения родового и послеродового периодов

Table 1 – Indicators describing during the calving and puerperal period

Показатели / Indicators	Высоко-удойные / High-yield cows	Средне-удойные / Medium-yield cows
<i>Предвестники отела/ The harbingers of calving</i>		
Гиперемия слизистой оболочки вульвы, сут. / Hyperemia of the mucous membrane of the vulva, day	1,72	1,43
Изменения молочной железы, сут. / Changes in the breast, day	3-4	1-2
Отхождение слизистой пробки, сут. / Discharge of mucous plug, day	5-7	3-5
<i>Родовой акт / Calving</i>		
Схватки раскрывающие, час / Contractions disclosure, hour	9,1±2,4	6,9±1,8
Схватки и потуги, мин / Contractions and attempts, min	110,1±8,1	89,7±4,6
Схватки последовые, час / Pospartum contractions, hour	6,5±1,8	4,1±0,5
<i>Послеродовой период/ Puerperal period</i>		
Период отделения последа, час / Calving of the placenta	12,3±2,4	7,6±1,2

Основными предвестниками родов являются гиперемия слизистой оболочки вульвы, разжижение и отхождение слизистой пробки, а также изменение со стороны молочной железы (увеличение вымени, появление молозива). Так, гиперемия слизистой оболочки вульвы у высокопродуктивных коров отмечалась за 1,72 суток, что на 0,29 суток больше, чему животных с продуктивностью 3500-3900 кг. Изменения со стороны молочной железы и отхождение слизистой пробки с шейки матки у животных с продуктивностью 5500-6000 кг также имеет показатели выше, чему у среднеудойных коров.

Таким образом, у высокопродуктивных животных предвестники родов имеют наибольшее временное колебание от 3 до 7 дней, в то время как у среднеудойных животных предвестники родов проявляются за 1-4 суток. У животных с продуктивностью 5500-6000 кг достаточно сложно определить конкретное время родов, что, в свою очередь, затрудняет перевод животного в родовое отделение. Ввиду этого происходит увеличение риска патологических родов, ведущих к послеродовым патологиям.

При изучении родоразрешения у коров нами было установлено, что показатели всех трех периодов родов у высокопродуктивных коров значительно выше, чем у коров со средним уровнем лактации. Так, в стадии раскрытия шейки матки длительность схваток у высокопродуктивных коров была на 2,2 часа больше, чем у среднепродуктивных коров. Стадия выведения плода у среднепродуктивных коров короче. Также нами установлено, что у коров с продуктивностью 5500-6000 кг в стадии выведения плода чаще встречаются акушерские патологии. Причиной этого в большинстве случаев является оказание акушерской помощи животным ввиду ослабления схваток и потуг. Ввиду чего увеличивается число патологических родов, сопровождающихся разрывами, способствующими развитию патологий органов размножения.

Длительность периода выведения последа у высокопродуктивных коров более чем в 2 раза длиннее, чем у коров со средним удоём. Данный критерий служит индикатором проявления патологий матки.

Анализ воспроизводства стада коров в учётных хозяйствах Волгоградской области за период 2014-2018 гг. показал, что у коров данных хозяйств патологии органов размножения занимают более 35 % всех заболеваний незаразной этиологии бесплодных животных. В ООО СП «Донское» у высокопродуктивных коров ведущее место

среди акушерско-гинекологических патологий занимают послеродовые эндометриты (50 %) и субинволюция матки (25,5 %), менее распространены гипофункция яичников (11,2 %) и цервициты (13,3 %). В свою очередь у среднеудойных коров заболеваемость эндометритом держится на том же уровне (49,4 %), но дисфункциональные расстройства яичников возникают почти на 6,6 % чаще, чем у высокопродуктивных.

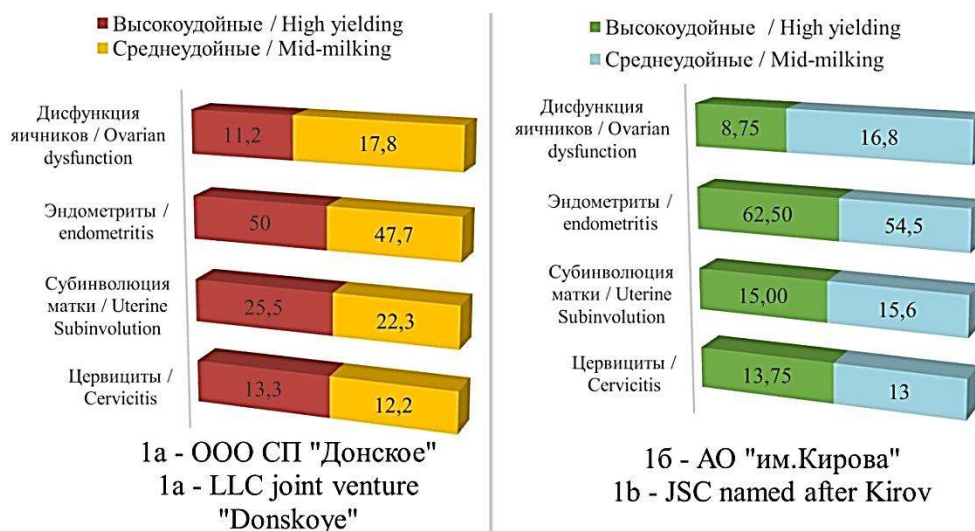


Рисунок 1 – Инцидентность послеродовых патологий в хозяйствах Волгоградской области

Figure 1 – Incidence of postpartum pathology in the farms of the Volgograd region

В АО имени Кирова также наиболее распространены эндометриты (62,5 %). Заболеваемость цервицитом равна 13,75 %, а субинволюцией матки заболело 12 коров (15 %). Наименее распространённым заболеванием является дисфункция яичников (8,75 %). У среднепродуктивных животных воспалительные заболевания половых органов остаются в тех же границах, что и у высокопродуктивных. Однако дисфункциональные расстройства яичников превосходят показатели высокоудойных коров почти в 2 раза (рисунок 1).

Из полученных нами данных можно сделать выводы, что у высокопродуктивных животных в среднем на 9,6 % чаще регистрируются воспалительные заболевания матки – субинволюция матки и послеродовый эндометрит, в то время как у животных со средним уровнем лактации функциональные расстройства яичников проявляются на 7,3 % чаще, чем у животных с высоким уровнем лактации.

Полным восстановлением организма коров после родов принято считать восстановление половой цикличности у животных. Полученные в ходе исследований данные говорят о снижении числа коров, оплодотворённых от первого осеменения. В ООО СП «Донское» количество коров, оплодотворённых в первую охоту, составляет 63,4 %, а в АО имени Кирова число коров, ставших стельными в первое осеменение на 4,8 % меньше, и равно 58,6 %. Продолжительность дней бесплодия за исследуемый период в ООО СП «Донское» составила 81-87 дней, тогда как у коров, принадлежащих АО имени Кирова, с – 86-90 дней. Эти данные свидетельствуют о распространении бесплодия среди высокоудойных животных.

Современные биопрепараты, применяемые для профилактики акушерско-гинекологических патологий, имеют положительное воздействие как на очаг воспаления, так и на организм в целом. Но наибольшим профилактическим эффектом обладают сред-

ства, доставляемые непосредственно к месту проявления воспалительного процесса. Предлагаемый нами биоконтейнер доставляет фармакопрепарат за счёт специфики своей конструкции. Конструкция биопрепарата представляет собой желатиновую капсулу, заполненную веществами на основе пептидных биорегуляторов, полученных из фетоплацентарного комплекса животных. Препараты фетоплацентарного комплекса относятся к лекарственным средствам биологического происхождения. Биологическое сырье в большинстве своём подобно по составу природным веществам, синтезируемым в живом организме.

Для приготовления препарата, содержащего пептидные биорегуляторы, источником служили внезародышевые органы (детская и материнская плацента, фетоплацентарные жидкости), а также пуповинная кровь, полученные в результате родового процесса от коров. Установлено, что в состав гомогенных суспензий, полученных из фетоплацентарных жидкостей коров, входят внутриклеточные субстанции и наночастицы пуповинной крови, которые обладают профилактическими, иммунологическими, бактерицидными и бактериостатическими свойствами.

Проведенные нами исследования профилактической эффективности патологий органов размножения у высокопродуктивных животных биопрепаратами на основе пептидных биорегуляторов дали положительные результаты в производственных условиях. Эффективность применения биоконтейнера для профилактики акушерско-гинекологических патологий органов размножения после патологических родов у животных с различным уровнем лактации представлена в таблице 2.

Биоконтейнер вводили животным после патологических родов внутрицервикально. Влияние биопрепарата на воспроизводительную способность коров оценивали по количеству бесплодных дней, индексу осеменения, а также оценивали стельность от первого осеменения и возникновения заболеваний половых органов.

Таблица 2 – Профилактическая эффективность биоконтейнера

Table 2 – Prophylactic efficiency of biocontainer

Показатель / Indicators	Высокопродуктивные / High-yield cows	Среднепродуктивные / Medium-yield cows
Количество животных, голов / Number of animals, heads	15	15
Профилактическая эффективность, % / Prophylactic efficiency, %	97,3	92,4
Продолжительность бесплодия, дни / Duration of infertility, day	45,3±1,2	53,4±1,8
Индекс осеменения / Insemination index	1,67±0,08	1,83±0,09
Степеньность от 1-го осеменения, гол/% / Index of insemination pregnancy from the first insemination, head/%	9/60	7/46,6
Возникновение патологий органов размножения, гол/% / Occurrence of pathologies of reproductive organs, head/%	2/13,4	4/26,7

Так, после применения биоконтейнера у высокопродуктивных коров продолжительность бесплодия была короче на 8,1 дней, чем у животных с уровнем средней лактации. Индекс осеменения у среднеудойных коров составлял 1,83±0,09, в то время как у высокопродуктивных – 1,67±0,08. После профилактического внутрицервикального введения коровам с продуктивностью свыше 5500 кг биоконтейнера, заполненного веществами фетоплацентарного комплекса, стельность от первого осеменения составляла 60%, тогда как у среднеудойных животных – всего 46,6 %.

Наиболее информативным критерием при оценке профилактической эффективности является возникновение акушерско-гинекологических патологий у коров. Так, после введения биоконтейнера в канал шейки матки у коров с продуктивностью 3500-

3900 кг, послеродовые патологии зарегистрированы у 26,7 % животных (4 головы), тогда как у высокоудойных в 2 раза меньше – 13,4 % (2 головы). Профилактическая эффективность биоконтейнера в обеих группах составила свыше 90 %.

Препараты, содержащие белково-пептидные молекулы, – это натуральные лечебные, общеукрепляющие, стимулирующие и профилактические препараты. Кроме пептидов в них содержится ряд биологически активных веществ: аминокислоты (в т.ч. незаменимые), липиды, цитокины (в т.ч. интерлейкины), альфа-фетопротеин, а также природный комплекс витаминов, макро- и микроэлементы.

Заключение. В результате проведенных нами исследований установлено, что у животных с высоким уровнем лактации во всех трех периодах родовой деятельности показатели более высокие, чем у среднеудойных животных. Воспалительные заболевания половых органов у коров с разными уровнями лактации колеблются на одном уровне, однако дисфункциональные расстройства яичников превосходят показатели высокоудойных коров почти в 2 раза. Биоконтейнер, заполненный веществами фетоплацентарного комплекса, обладает лечебными, иммунологическим, бактерицидными и бактериостатическими свойствами. Профилактическая эффективность биоконтейнера в обеих группах составила свыше 90 %.

Библиографический список

1. Анализ основных причин выбытия коров в сельскохозяйственных организациях Свердловской области / А. С. Томских, М. И. Барашкин, А. В. Елисин, Е. И. Шурманова, И. М. Мильштейн // Аграрный вестник Урала. 2016. №05 (147). С. 37-42.
2. Баканова К. А., Небогатиков Г. В. Экспериментальное изучение безвредности плодных фракций на животных // Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. №2 (38). С. 164-167.
3. Глазунов Е. А., Пименов Н. В., Сотникова Л. Ф. Изучение профилактической эффективности препарата бактериофагов при эндометритах у коров в условиях молочно-товарной фермы // RJOAS. 2016. №5. С. 90-96.
4. Кочарян В. Д., Баканова К. А., Авдеенко В. С. Верификация диагноза и терапия коров больных хроническим эндометритом // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. №2 (42). С. 190-197.
5. Метод оптимизации репродуктивной функции коров после отёла / И. В. Яшин, З. Я. Косорлукова, Г. В. Зоткин, А. В. Дубинин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. №5 (60). С. 52-56.
6. Топурия Л. А., Есказина А. Б. Основные причины низкой воспроизводительной способности коров // Известия ОГАУ. 2012. №36-1. С. 76-77.
7. Хлопицкий В. П., Скориков В. Н., Михалев В. И. Эндометрамаг-ГРИН – современная профилактика и лечение коров с послеродовой патологией без ограничения по молоку // Ветеринария. 2017. № 7 (июль). С. 35-37.
8. Bacteriological, cytological and histopathological evaluation of the reproductive tract of slaughtered cows / Julia B. S. Casarin, Ana P. Martini, Janislene M. Trentin, Mariani F. Fiorenza, Gilson A. Pessoa, Severo S. Barros, Mara I. B. Rubin // Pesquisa Veterinária Brasileira. 2018. Volume 38. № 1. P. 53-58.
9. Changes in feeding, social, and lying behaviors in dairy cows with metritis following treatment with a nonsteroidal anti-inflammatory drug as adjunctive treatment to an antimicrobial / J. Lomb, H. W. Neave, D. M. Weary, S. J. LeBlanc, J. M. Huzzey, M. A. G. von Keyserlingk // ODSA, Journal of dairy science. 2018. Vol. 101. Issue 5, May. P. 4400–4411.
10. Effects of intrauterine infusion of Escherichia coli lipopolysaccharide on uterine health, resolution of purulent vaginal discharge, and reproductive performance of lactating dairy cows / João G. N. Moraes, Paula R. B. Silva, Luís G. D. Mendonça, Alexandre A. Scanavez, Joseane C. C. Silva, Ricardo C. Chebe // ODSA, Journal of dairy science. 2017. Vol. 100. Issue 6, June. P. 4772–4783.

11. Khan M. H., Manoj K., Pramod S. Reproductive disorders in dairy cattle under semi-intensive system of rearing in North-Eastern India // *Veterinary World*. 2016. Vol. 9(5). P. 512-518.

12. Prevalence of various pathological conditions in female buffaloes (*Bubalus bubalis*) / Perumal Ponraj, Sukkum Chang, Nakulan V Rajesh, Muthusamy Veeraselvam, Kalpana Devi Rajesh // *Asian Pacific Journal of Reproduction*. 2017. Vol. 6(2). P. 58-67.

Reference

1. Analiz osnovnyh prichin vybytiya korov v sel'skohozyajstvennyh orga-nizatsiyah Sverdlovskoy oblasti / A. S. Tomsikh, M. I. Barashkin, A. V. Elisin, E. I. Shurmanova, I. M. Mil'shtejn // *Agrarnyj vestnik Urala*. 2016. №05 (147). P. 37-42.

2. Bakanova K. A., Nebogatikov G. V. Jeksperimental'noe izuchenie bezvrednosti plodnyh frakcij na zhivotnyh // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2015. №2 (38). P. 164-167.

3. Glazunov E. A., Pimenov N. V., Sotnikova L. F. Izuchenie profilakticheskoy jeffektivnosti preparata bakteriofagov pri jndometritah u korov v usloviyah molochno-tovarnoj fermy // *RJOAS*. 2016. №5. P. 90-96.

4. Kocharyan V. D., Bakanova K. A., Avdeenko V. S. Verifikaciya diagnoza i terapiya korov bol'nyh hronicheskim jndometritom // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2016. №2 (42). P. 190-197.

5. Metod optimizatsii reproduktivnoj funktsii korov posle otjola / I. V. Yashin, Z. Ya. Kosorlukova, G. V. Zotkin, A. V. Dubinin // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2017. №5 (60). P. 52-56.

6. Topuriya L. A., Eskazina A. B. Osnovnye prichiny nizkoj vosproizvoditel'noj sposobnosti korov // *Izvestiya OGAU*. 2012. №36-1. P. 76-77.

7. Hlopickij V. P., Skorikov V. N., Mihalev V. I. Jendometramag-GRIN - so-vremennaya profilaktika i lechenie korov s poslerodovoj patologiej bez ogranicheniya po moloku // *Veterinariya*. 2017. № 7 (iyul'). P. 35-37.

8. Bacteriological, cytological and histopathological evaluation of the reproductive tract of slaughtered cows / Julia B. S. Casarin, Ana P. Martini, Janislene M. Trentin, Mariani F. Fiorenza, Gilson A. Pessoa, Severo S. Barros, Mara I. B. Rubin // *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2018. Volume 38. № 1. P. 53-58.

9. Changes in feeding, social, and lying behaviors in dairy cows with metritis following treatment with a nonsteroidal anti-inflammatory drug as adjunctive treatment to an antimicrobial / J. Lomb, H. W. Neave, D. M. Weary, S. J. LeBlanc, J. M. Huzzey, M. A. G. von Keyserlingk // *ODSA, Journal of dairy science*. 2018. Vol. 101. Issue 5, May. P. 4400-4411.

10. Effects of intrauterine infusion of *Escherichia coli* lipopolysaccharide on uterine health, resolution of purulent vaginal discharge, and reproductive performance of lactating dairy cows / João G. N. Moraes, Paula R. B. Silva, Luís G. D. Mendonça, Alexandre A. Scanavez, Joseane C. C. Silva, Ricardo C. Chebe // *ODSA, Journal of dairy science*. 2017. Vol. 100. Issue 6, June. P. 4772-4783.

11. Khan M. H., Manoj K., Pramod S. Reproductive disorders in dairy cattle under semi-intensive system of rearing in North-Eastern India // *Veterinary World*. 2016. Vol. 9(5). P. 512-518.

12. Prevalence of various pathological conditions in female buffaloes (*Bubalus bubalis*) / Perumal Ponraj, Sukkum Chang, Nakulan V Rajesh, Muthusamy Veeraselvam, Kalpana Devi Rajesh // *Asian Pacific Journal of Reproduction*. 2017. Vol. 6(2). P. 58-67.

Информация об авторах

Кочарян Валентина Даниловна, заведующий кафедрой «Акушерство и терапия» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), кандидат биологических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7519-5883>. **E-mail:** kvd202@mail.ru

Баканова Ксения Алексеевна, ассистент кафедры «Акушерство и терапия» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26). **E-mail:** kseniya.golutvina.92@mail.ru

Перерядкина Светлана Петровна, доцент кафедры «Акушерство и терапия» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), кандидат ветеринарных наук. **E-mail:** pereryadkina.svetlana@mail.ru

Файзулина Наталья Сергеевна аспирант кафедры «Акушерство и терапия» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26). **E-mail:** nsberezina96@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.2.034.087.7

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-21

КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ РАЦИОНОВ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

FEED ADDITIVES TO IMPROVE THE NUTRITIONAL VALUE OF DIETS AND THE PRODUCTIVITY OF LACTATING COWS

М. А. Степурина¹, аспирант

В. Н. Струк¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А. Т. Варакин^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
И. Н. Хакимов³, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Е. С. Воронцова⁴, аспирант

**M.A. Stepurina¹, V.N. Struk¹, A.T. Varakin^{1,2}, I.N. Khakimov³,
E.S. Vorontsova⁴**

¹ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет

²ФНЦ агроэкологии РАН

³ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет

⁴ФГБНУ Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Volgograd State Agrarian University»

²Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology,
Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

³Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Samara State Agrarian University»

⁴Federal State Budget Scientific Institution «Volga Research Institute of Production
and Processing of Meat and Dairy Products»

Дата поступления в редакцию 28.10.2019

Received 00.00.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Submitted 20.12.2019

Актуальным с научной и практической точек зрения является использование в качестве кормовой добавки волгоградского бишофита и комбинированной кормовой добавки, включающей селеноорганический препарат «Селенопиран» и содержащей дополнительно бишофит волгоградского месторождения, для улучшения минерального питания лактирующих коров. Рационы для дойных коров сравниваемых групп были разработаны на время периода раздоя и после раздоя согласно детализированным нормам кормления ВИЖ. Во время главного периода проводимого эксперимента коровы в I контрольной группе использовали корма и добавки основного рациона. В этот же период эксперимента коровам во II опытной группе скармливали основной рацион и дополнительно минеральную добавку: бишофит волгоградского месторождения; III опытной – основной рацион и комбинированную добавку, включающую препарат «Селенопиран» и волгоградский бишофит. По результатам проведенного эксперимента было установлено, что в опытных группах у коров были получены более высокие показатели молочной продуктивности. Коровы II и III опытных групп имели в среднем суточный удой молока больше соответственно на 1,3 кг (7,74 %) и 1,9 кг (11,31 %) по сравнению с животными в I кон-

трольной группе. В то же время во II опытной группе содержание жира и белка в молоке в среднем повысилось на 0,05 % и 0,02 %; III опытной – соответственно на 0,08 % ($P < 0,05$) и 0,05 % ($P < 0,05$) по сравнению с животными I контрольной группы. Исследуемые показатели крови у животных сравниваемых групп соответствовали физиологической норме. В сравнении с контрольной группой у коров в опытных группах была выявлена более высокая переваримость питательных веществ потребленных кормов, а именно по показателям сухого и органического вещества, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки и БЭВ; по показателям баланса азота и минеральных элементов. При этом наиболее высокую переваримость и использование питательных веществ рационов имели коровы III опытной группы, получавшие в дополнение к основному рациону комбинированную кормовую добавку.

Actual from a scientific and practical point of view is the use as a feed additive of Volgograd bischofite and a combined feed additive, including organo-selenium preparation «Selenopyran», and additionally containing bischofite of Volgograd field, to improve the mineral nutrition of lactating cows. Diets for dairy cows of the compared groups were developed for the duration of the milking period and after milking according to the detailed feeding standards of All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst. During the main period of the experiment, the cows in the I control group used feed and additives of the main diet. In the same period of the experiment, the cows in the II experimental group were fed the main diet and additionally a mineral supplement: bischofite of the Volgograd field; III experimental - the main diet and combined supplement, including the drug «Selenopyran» and Volgograd bischofite. According to the results of the experiment, it was found that in the experimental groups, cows received higher milk production rates. Cows of the II and III experimental groups had an average daily milk yield of 1,3 kg (7,74%) and 1.9 kg (11,31%) respectively, compared with animals in the I control group. At the same time, in the II experimental group, the fat and protein content in milk increased on average by 0,05% and 0,02%; Experimental III - respectively 0,08% ($P < 0,05$) and 0,05% ($P < 0,05$), compared with animals of the I control group. The studied blood indices in animals of the compared groups corresponded to the physiological norm. Compared with the control group, cows in the experimental groups showed a higher digestibility of the nutrients of the consumed feed, namely in terms of dry and organic matter, crude protein, crude fat, crude fiber and nitrogen-free extractive substances; according to the balance of nitrogen and mineral elements. At the same time, the cows of the experimental group III had the highest digestibility and use of the nutrients of the diets, receiving, in addition to the main diet, a combined feed additive.

Ключевые слова: лактирующие коровы, рационы лактирующих коров, молочная продуктивность коров, бишофит волгоградского месторождения, препарат «Селенопиран».

Key words: lactating cows, diets, milk production, bischofite of the Volgograd field, «Selenopyran» drug.

Цитирование. Степурина М. А., Струк В. Н., Варакин А. Т., Хакимов И. Н., Воронцова Е. С. Кормовые добавки для повышения питательной ценности рационов и продуктивности лактирующих коров. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 170-179. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-21.

Citation. Stepurina M.A., Struk V.N., Varakin A.T., Khakimov I.N., Vorontsova E.S. Feed additives to improve the nutritional value of diets and the productivity of lactating cows. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 170-179 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-21.

Введение. Показатели продуктивности сельскохозяйственных животных в значительной степени зависят от наследственных качеств [7] и технологических особенностей содержания [2]. Также очень важным фактором при производстве животноводческой продукции является биологическая полноценность рационов [4, 5, 6]. Этому во многом способствует обеспечение животных кормами, заготовленными с высоким качеством [10].

Однако для дальнейшей интенсификации производства в конкурентных условиях рынка требуется расширение использования эффективных кормовых средств, которые позволяют полнее реализовать генетически обусловленный потенциал продуктивности животных, снизить себестоимость и повысить эффективность получения продукции [11, 13].

При этом на продуктивность и показатели крови у сельскохозяйственных животных большое влияние оказывает обеспечение рационов по минеральным элементам [9, 12].

В связи с этим определенный интерес представляет использование бишофита волгоградского месторождения в качестве минеральной добавки животным [3].

В настоящее время с научной и практической точек зрения существенный интерес также вызывает использование в кормлении животных добавок препаратов микроэлемента – селена из-за его большой биологической роли в организме и недостатка в кормах. Например, в птицеводстве этот микроэлемент рекомендуется вводить в рационы гарантированно из расчета 0,2 г на одну тонну полнорационного комбикорма. Причем в организме животных селена содержится относительно малое количество.

В результате введения в рационы препарата селена установлено повышение интенсивности обменных процессов в организме животных и их продуктивных качеств [8].

Поэтому весьма важным и актуальным является использование природной кормовой добавки – бишофита волгоградского месторождения отдельно и вместе с селеносодержащим препаратом в рационах для лактирующих коров.

Целью настоящих исследований являлось изучение влияния использования в рационах бишофита волгоградского месторождения и комбинированной кормовой добавки, включающей селенорганический препарат «Селенопиран» и содержащей дополнительно бишофит волгоградского месторождения, на молочную продуктивность и качество молока лактирующих коров.

Материалы и методы. Для достижения вышеуказанной цели в ИП КФХ «Кочкина Н. И.» Быковского района Волгоградской области были проведены исследования, состоящие из научно-хозяйственного и физиологического опытов. Исследования на коровах выполнили с использованием метода групп. При постановке данного эксперимента были сформированы три группы лактирующих коров красной степной породы. Подбор животных в группы выполнили по принципу аналогов. Схема проведения научно-хозяйственного опыта на коровах приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта

Table 1 – Scheme of scientific and economic experience

Период/ Period	Группа/ Group	Количество коров / Amount cows	Продолжитель- ность, дней/ Duration, days	Характер кормления/ Character feeding
1	2	3	4	5
Предварительный (уравни- тельный)/ Preliminary (egalitarian)	I контрольная, II и III опытные / I control, II and III experienced	30	20	Основной рацион (OP)/ Main diet (OR)
Переход- ный/ Transition	I контрольная / I control	10	7	OP/OR
	II опытная / II experienced	10	7	OP + бишофит – приучение/ OR + bischofite - training
	III опытная / III experienced	10	7	OP + бишофит + «Селено- пиран» – приучение/ OR + bischofite + "Selenopy- ran" - training

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Главный (учетный)/ Chief (account)	I контрольная / I control	10	153	OP/OR
	II опытная / II experienced	10	153	OP + бишофит/ OR + bischofite
	III опытная / III experienced	10	153	OP + бишофит + «Селено- пиран»/ OR + bischofite + "Selenopyran"
Заключи- тель- ный/Final	I контрольная, II и III опытные / I control, II and III experi- enced	30	15	OP/OR

Результаты. Рационы для дойных коров сравниваемых групп разработали согласно детализированным нормам кормления ВИЖа. В главном периоде опыта (первые 73 дня) для коров продолжался раздой. Компоненты рационов во время раздоя коров приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Компоненты рациона лактирующих коров в период раздоя, кг

Table 2 – Components of the diet of lactating cows in the period of milking, kg

Содержится в рационе/ Contained in the diet	Группа коров/Group of cows		
	I контроль- ная/I control	II опытная/ II experienced	III опытная/ III experienced
Злакового сена/ Grass hay	2,0	2,0	2,0
Бобового сена/ Bean hay	3,0	3,0	3,0
Концентратов, в том числе протеиновых/ Concentrates, including protein	5,53 1,43	5,53 1,43	5,53 1,43
Силоса/Silage	27,0	27,0	27,0
Кормовой патоки (мелассы)/ Feed molasses (molasses)	1,5	1,5	1,5
Поваренной соли, г/Salt, g	113	113	113
Кормового фосфата, г/ Feed phosphate, g	112	112	112
Элементарной серы, г/ Elemental sulfur, g	13,5	13,5	13,5
Природного бишофита, мг/ Natural bischofite, mg	-	67500,0	-
Комбинированной добавки, мг/ Combined supplement, mg	-	-	67510,55
Углекислой меди, мг/ Copper carbonate, mg	96,4	96,4	96,4
Углекислого цинка, мг/ Zinc carbonate, mg	1213,0	1213,0	1213,0
Хлористого кобальта, мг/ Cobalt chloride, mg	23,0	23,0	23,0
Хлористого марганца, мг/ Manganese chloride, mg	1689,1	1689,1	1689,1
Йодистого калия, мг/ Potassium iodide, mg	10,2	10,2	10,2
Витамина Д, тыс. ME/ Vitamin D, thousand ME	12,6	12,6	12,6

В наших исследованиях основной рацион для лактирующих коров в период раздоя был обеспечен разнообразными компонентами – кормами и добавками. При этом в рационе коров I контрольной группы был выявлен недостаток до нормы по содержанию жизненно необходимого (биогенного, биотического) макроэлемента – магния, который восполнили для их аналогов из II опытной группы включением минеральной добавки – бишофита волгоградского месторождения.

Микроэлемент селен также относится к жизненно необходимым элементам питания для сельскохозяйственных животных. Из-за его недостаточного содержания в кормах применяют неорганические и органические формы препаратов этого микроэлемента, например, соответственно селенит натрия и диацетофенонилселенид (ДАФС-25) и другие. Поэтому в основном рационе для коров III опытной группы была использована комбинированная кормовая добавка, включающая селенорганический препарат «Селенопиран» и содержащая дополнительно бишофит волгоградского месторождения.

В используемых рационах во время раздоя коров I контрольной, II и III опытных групп содержание по энергетическим кормовым единицам (ЭКЕ) было одинаковым и составило 18,12, а также по обменной энергии (ОЭ) – 181,2 МДж, сухому веществу (СВ) – 17,54 кг, сырому протеину (СП) – 2456,4 г, переваримому протеину (ПП) – 1697,0 г, расщепляемому в рубце протеину (РП) – 1844,0 г, сырой клетчатке (СК) – 3697,2 г, крахмалу – 2396,8 г, сахарам – 1490,7 г, сырому жиру (СЖ) – 538,5 г. Содержание кальция составило 119,6 г, фосфора – 81,0 г, калия – 225,9 г, серы – 37,0 г, железа – 2314,2 мг, меди – 154,0 мг, цинка – 1040,0 мг, кобальта – 11,2 мг, марганца – 1040,0 мг, йода – 13,8 мг, каротина – 761,0 мг, витамина Д – 15,8 тыс. МЕ, витамина Е – 1785,0 мг.

При этом содержание магния в рационах сравниваемых групп составило соответственно 22,88; 28,0 и 28,0 г. Содержание этого важного макроэлемента повысилось до нормы кормления в рационах коров опытных групп за счет введения волгоградского бишофита.

В главном периоде опыта (последующие 80 дней) совпали со временем после раздоя коров. Компоненты рационов коров приведены в таблице 3.

Во время продолжения проведения эксперимента после периода раздоя лактирующих коров в основном рационе также были использованы разнообразные компоненты – корма и добавки. Причем в используемых кормах для коров I контрольной группы имел место недостаток до нормы по содержанию жизненно важного минерального элемента – магния, который был восполнен для животных из II опытной группы включением кормовой добавки – волгоградского бишофита. В связи с недостаточным содержанием в используемых кормах жизненно необходимого микроэлемента – селена, в основном рационе для коров III опытной группы была использована комбинированная кормовая добавка, включающая селенорганический препарат «Селенопиран» и бишофит волгоградского месторождения.

При этом в рационах после периода раздоя коров I контрольной, II и III опытных групп не было различий по содержанию ЭКЕ, которое составило 15,9, а также по ОЭ – 159,0 МДж, СВ – 15,78 кг, СП – 2111,2 г, ПП – 1435,7 г, РП – 1587,4 г, СК – 3609,7 г, крахмалу – 1758,8 г, сахарам – 1155,2 г, СЖ – 472,0 г. Кальция содержалось 115,1 г, фосфора – 69,0 г, калия – 201,5 г, серы – 33,0 г, железа – 1913,5 мг, меди – 130,0 мг, цинка – 850,0 мг, кобальта – 9,5 мг, марганца – 850,0 мг, йода – 11,5 мг, каротина – 756,0 мг, витамина Д – 13,6 тыс. МЕ, витамина Е – 1761,0 мг. Однако содержание магния в рационах сравниваемых групп составило соответственно 20,75; 26,0 и 26,0 г. Это было связано с использованием бишофита для животных опытных групп.

В исследованиях, проводимых на коровах молочных пород, большое значение имеет изучение показателей их молочной продуктивности [1].

Таблица 3 – Компоненты рациона лактирующих коров после раздоя, кг

Table 3 – Components of the diet of lactating cows after milking, kg

Содержится в рационе/ Contained in the diet	Группа коров/Group of cows		
	I контроль- ная/I control	II опытная/ II experienced	III опытная/ III experienced
Злакового сена/Grass hay	2,0	2,0	2,0
Бобового сена/Bean hay	3,0	3,0	3,0
Концентратов, в том числе протеиновых/ Concentrates, including protein	3,95 1,05	3,95 1,05	3,95 1,05
Силоса/ Silage	27,0	27,0	27,0
Кормовой патоки (мелассы)/ Feed molasses (molasses)	1,0	1,0	1,0
Поваренной соли, г/Salt, g	97	97	97
Кормового фосфата, г/ Feed phosphate, g	79,5	79,5	79,5
Элементарной серы, г/ Elemental sulfur, g	13,0	13,0	13,0
Природного бишофита, мг/ Natural bischofite, mg	-	69300,0	-
Комбинированной добавки, мг/ Combined supplement, mg	-	-	69307,43
Углекислой меди, мг/ Copper carbonate, mg	80,0	80,0	80,0
Углекислого цинка, мг/ Zinc carbonate, mg	987,3	987,3	987,3
Хлористого кобальта, мг/ Cobalt chloride, mg	18,1	18,1	18,1
Хлористого марганца, мг/ Manganese chloride, mg	1218,0	1218,0	1218,0
Йодистого калия, мг/ Potassium iodide, mg	8,0	8,0	8,0
Витамина Д, тыс. МЕ/ Vitamin D, thousand ME	10,4	10,4	10,4

По результатам, полученным в научно-хозяйственном опыте, было установлено, что введение в рационы лактирующих коров волгоградского бишофита и комбинированной кормовой добавки, включающей селенорганический препарат «Селенопиран» и содержащей дополнительно бишофит волгоградского месторождения, оказало положительное влияние на изучаемые показатели средних суточных удоев произведенного молока и содержание в нем жира и белка (таблица 4). Так, в главном периоде опыта коровы II и III опытных групп имели среднесуточный удой натурального молока больше соответственно на 1,3 кг (7,74 %; $P < 0,01$) и 1,9 кг (11,31 %; $P < 0,001$) по сравнению с животными I контрольной. По изучаемому показателю, в сравнении с коровами II опытной группы, животные III опытной имели преимущество на 0,6 кг (3,31 %; $P < 0,05$).

При этом у животных во II и III опытных группах жирность молока повысилась в среднем соответственно на 0,05 и 0,08 % ($P < 0,05$) по сравнению с аналогами I контрольной группы. Коровы III опытной группы имели изучаемый показатель выше на 0,03 %, чем животные из II опытной.

Таблица 4 – Молочная продуктивность коров

Table 4 – Dairy productivity of cows

Показатель/ Indicator	Группа коров/ Group of cows		
	I контрольная/ I control	II опытная/ II experienced	III опытная/ III experienced
Средний суточный удой молока, кг/The average daily milk yield, kg	16,80±0,30	18,10±0,20	18,70±0,17
Содержится жира в молоке, %/Contains fat in milk, %	3,88±0,015	3,93±0,021	3,96±0,025
Содержится белка в молоке, %/Contains protein in milk, %	3,38±0,010	3,40±0,015	3,43±0,018

У коров II и III опытных групп было выявлено, что содержание белка в молоке повысилось в среднем соответственно на 0,02 и 0,05 % ($P < 0,05$) по сравнению с животными из I контрольной группы. У коров III опытной группы изучаемый показатель был выше на 0,03 % в сравнении со II опытной группой.

Для изучения физиологических показателей у животных, связанных с характером обмена веществ в организме, проводят морфологические и биохимические исследования крови [15].

Причем фактор кормления оказывает влияние на изменения показателей крови у скота [14].

В связи с этим нами в физиологических исследованиях были изучены гематологические показатели у подопытных лактирующих коров, а также переваримость и использование ими питательных веществ рационов. Согласно полученным результатам, у животных в группах гематологические показатели соответствовали норме. В сравнении с контролем в опытных группах была выявлена более высокая переваримость питательных веществ рационов, а именно по СВ, органическому веществу, СП, СЖ, СК и БЭВ, а также по балансу азота и минеральных элементов. Наиболее высокую переваримость и использование питательных веществ рационов имели коровы III опытной группы, получавшие в дополнение к основному рациону комбинированную кормовую добавку.

Обсуждение. Использование кормовой добавки в виде волгоградского бишофита и комбинированной кормовой добавки, включающей препарат «Селенопиран» и бишофит волгоградского месторождения, способствовало полноценности рационов лактирующих коров за счет лучшего обеспечения их минеральным питанием, что оказало влияние на повышение переваримости и использования ими питательных веществ, молочной продуктивности и качественных показателей молока. При этом наиболее высокий результат установлен у коров, которым скармливали в дополнение к рациону комбинированную кормовую добавку. Гематологические показатели у коров всех групп были в норме.

Заключение. Таким образом, включение в рационы бишофита волгоградского месторождения и комбинированной кормовой добавки, включающей селеноорганический препарат «Селенопиран» и содержащей дополнительно волгоградский бишофит, позволяет повысить молочную продуктивность лактирующих коров, переваримость и использование ими питательных веществ корма. Лучший результат достигается при использовании в рационах коров комбинированной кормовой добавки.

Библиографический список

1. Бабайлова Г. П., Березина Т. И. Молочная продуктивность и пожизненный удой коров черно-пестрой породы разных типов телосложения // Зоотехния. 2014. № 2. С. 15-17.

2. Баймишев Х. Б. Влияние технологии выращивания телок на морфологию их яичника // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. Вып. 3. С. 34-39.
3. Злепкин А.Ф., Эзергайл К. В., Авоян И. А. Мясная продуктивность и качество мяса свиней при введении в рационы ферментно-пробиотического препарата «Бацелл» отдельно и совместно с природным бишофитом// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 229-234.
4. Кислякова Е. М., Софронова И. В. Влияние добавки разных форм глюконата кальция в рационы на химический состав и свойства молока коров-первотелок // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана. 2013. Т. 213. С. 120-125.
5. Ломаева А. А., Кислякова Е. М., Москвичева А. Б. Использование органической хромкомпенсирующей добавки в рационах коров// Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 2. С. 25-28.
6. Любимов А. И., Кислякова Е. М., Софронова И. В. Молочная продуктивность и показатели воспроизводства коров-первотелок при использовании разных форм глюконата кальция в рационах // Зоотехния. 2012. № 4. С. 9-11.
7. Ляшенко В. В., Ситникова И. В. Молочная продуктивность и качество молока голштинских коров-первотелок разной селекции// Зоотехния. 2013. № 9. С. 18-19.
8. Повышение воспроизводительной функции у свиней при использовании биологически активных добавок/ А. Т. Варакин, В. В. Саломатин, Д. К. Кулик, А. А. Ряднов, Д. А. Злепкин [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 172-177.
9. Саломатин В. В., Варакин А. Т., Кулик Д. К. Комплексная минеральная добавка в рационах хряков-производителей // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (48). С. 97-102.
10. Хакимов И. Н., Мударисов Р. М. Откормочные качества бычков при скормливаниях силоса, консервированного бактериальной закваской// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1 (37). С. 133-138.
11. Comparative assessment of effect of copper nano- and microparticles in chicken / S. A. Miroshnikov, E. V. Yausheva, E. A. Sizova, E. P. Miroshnikova, V. I. Levahin // Oriental Journal of Chemistry. 2015. Vol. 31. № 4. P. 2327-2336.
12. Effect of feeding with organic microelement complex on blood composition and beef production of young cattle/ I. F. Gorlov, V. I. Levakhin, V. F. Radchikov, V. F. Tsai, S. E. Bozhkova // Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. № 10. P. 8-16.
13. False Flax Cake in Mixed Feed For The Fattening Of Lactating Cows And Dairy Stores / V. S. Zoteev, E. I. Pisarev, S. I. Nikolaev, V. V. Salomatina, A. T. Varakin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9 (5). P. 1422-1428.
14. Residual feed intake and blood variables in young Nellore cattle / C. F. Nascimento, R. H. Branco, S. F. Bonilha, J. N. Cyrillo, J. A. Negrão, M. E. Mercadante // Journal of Animal Science. 2015. Vol. 93 (3). P. 1318-1326.
15. The relationship of plasma urea nitrogen with growth traits and age at first estrus in gilts / C. A. Lents, L. A. Rempel, J. Klindt, T. Wise, D. Nonneman, B. A. Freking // Journal of Animal Science. 2013. Vol. 91 (7). P. 3137-3142.

Reference

1. Babajlova G. P., Berezina T. I. Molochnaya produktivnost' i pozhiznennyj udoy korov cherno-pestroj породы raznyh tipov teloslozheniya// Zootehniya. 2014. № 2. P. 15-17.
2. Bajmishev H. B. Vliyanie tehnologii vyraschivaniya telok na morfologiyu ih yaichnika // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. 2018. Vol. 3. P. 34-39.
3. Zlepkin A. F., Jezergajl' K. V., Avoyan I. A. Myasnaya produktivnost' i kachestvo myasa svinej pri vvedenii v raciony fermentno-probioticheskogo preparata "Bacell" ot del'no i sovmestno s prirodnyim bishofitom// Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 4 (52). P. 229-234.

4. Kislyakova E. M., Sofronova I. V. Vliyanie dobavki raznyh form glyukonata kal'ciya v raciony na himicheskij sostav i svoystva moloka korov-pervotelok // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny imeni N. Je. Baumana. 2013. Vol. 213. P. 120-125.
5. Lomaeva A. A., Kislyakova E. M., Moskvicheva A. B. Ispol'zovanie organicheskoy hrom-kompensiruyushej dobavki v racionah korov// Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. T. 11. № 2. P. 25-28.
6. Lyubimov A. I., Kislyakova E. M., Sofronova I. V. Molochnaya produktivnost' i pokazateli vosпроизводства korov-pervotelok pri ispol'zovanii raznyh form glyukonata kal'ciya v racionah// Zootehniya. 2012. № 4. P. 9-11.
7. Lyashenko V. V., Sitnikova I. V. Molochnaya produktivnost' i kachestvo moloka golshhtinskih korov-pervotelok raznoj selekcii// Zootehniya. 2013. № 9. P. 18-19.
8. Povyshenie vosпроизводитель'noj funkcii u svinej pri ispol'zovanii biologicheskii aktivnyh dobavok/ A. T. Varakin, V. V. Salomatin, D. K. Kulik, A. A. Ryadnov, D. A. Zlepkin [i dr.] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 1 (53). P. 172-177.
9. Salomatin V. V., Varakin A. T., Kulik D. K. Kompleksnaya mineral'naya dobavka v racionah hryakov-proizvoditelej // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 4 (48). P. 97-102.
10. Hakimov I. N., Mudarisov R. M. Otkormochnye kachestva bychkov pri skarmlivanii silosa, konservirovannogo bakterial'noj zakvaskoj// Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2015. № 1 (37). P. 133-138.
11. Comparative assessment of effect of copper nano- and microparticles in chicken / S. A. Miroshnikov, E. V. Yausheva, E. A. Sizova, E. P. Miroshnikova, V. I. Levahin // Oriental Journal of Chemistry. 2015. Vol. 31. № 4. P. 2327-2336.
12. Effect of feeding with organic microelement complex on blood composition and beef production of young cattle/ I. F. Gorlov, V. I. Levakhin, V. F. Radchikov, V. F. Tsai, S. E. Bozhkova // Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. № 10. P. 8-16.
13. False Flax Cakein Mixed Feed For The Fattening Of Lactating Cows And Dairy Stores / V. S. Zoteev, E. I. Pisarev, S. I. Nikolaev, V. V. Salomatin, A. T. Varakin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9 (5). P. 1422-1428.
14. Residual feed intake and blood variables in young Nellore cattle / C. F. Nascimento, R. H. Branco, S. F. Bonilha, J. N. Cyrillo, J. A. Negrão, M. E. Mercadante // Journal of Animal Science. 2015. Vol. 93 (3). P. 1318-1326.
15. The relationship of plasma urea nitrogen with growth traits and age at first estrus in gilts / C. A. Lents, L. A. Rempel, J. Klindt, T. Wise, D. Nonneman, B. A. Freking // Journal of Animal Science. 2013. Vol. 91 (7). P. 3137-3142.

Информация об авторах:

Степурина Мария Александровна, аспирант кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26); kafedra-kormlenie@mail.ru

Струк Владимир Николаевич, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), доктор сельскохозяйственных наук, профессор; kafedra-kormlenie@mail.ru

Варакин Александр Тихонович, ¹профессор кафедры «Частная зоотехния» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26); ²главный научный сотрудник федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук, профессор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0375-7108>; varakinat58@mail.ru

Хакимов Исмагиль Насибуллович, профессор кафедры «Разведение и кормление сельскохозяйственных животных» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет» (446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2), доктор сельскохозяйственных наук, профессор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1640-8436>; hakimov_2@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, аспирант федерального государственного бюджетного научного учреждения «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0730-853X>; esvoronts@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare non conflict of interest.

УДК 636.32/38.082.25

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-22

ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА МЕРИНОСОВЫХ ОВЦЕМАТОК И РОСТ ЯГНЯТ В ПОДСОСНЫЙ ПЕРИОД ПРИ СКРЕЩИВАНИИ С БАРАНАМИ ПОРОДЫ ДОРПЕР

REPRODUCTIVE QUALITIES OF MERINO EWES AND THE GROWTH OF LAMBS IN THE SUCKLING PERIOD DURING CROSSING WITH SHEEP OF THE DORPER BREED

Ю. А. Колосов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Н. Г. Чамурлиев², доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А. С. Дегтярь¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
С. В. Дегтярь¹, аспирант

Yu. A. Kolosov¹, N. G. Chamurliiev², A. S. Degtyar¹, S. V. Degtyar¹

¹Донской государственный аграрный университет

²Волгоградский государственный аграрный университет

¹Don State Agrarian University

²Volgograd State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 14.10.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received

Submitted 20.12.2019

В статье обобщены результаты оценки воспроизводительных качеств маток породы советский меринос, осемененных баранами породы дорпер, а также показатели роста и развития полученного помесного молодняка в подсосный период. В группе опытных овцематок было получено 59 ягнят, а в контрольной – на 6 голов или на 11,3 % меньше. Следует обратить внимание, что во 2 опытной группе у пяти овцематок родились двойни, тогда как в контрольной только у одной. Сохранность чистопородного молодняка в подсосный период составила 94,3 %, что меньше, чем у помесных ягнят 2 группы на 2,3 %. В результате плодовитость маток 2 опытной группы была выше на 10,0 %. При рождении помесные ягнята 2 группы имели большую живую массу, чем их аналоги из контрольной группы. Эта разница по баранчикам составила 21,1 %, а в возрасте 1-, 2-, 3- и 4-х месяцев – 16,9; 16,2; 16,6 и 17,6 % соответственно, что можно объяснить влиянием породы дорпер. Уровень достоверности разницы между группами был очень высоким ($P > 0,999$). Ярочки по живой массе уступали баранчикам вследствие полового диморфизма во все исследуемые периоды. Но тренд превосходства живой массы опытной группы над контролем сохранился примерно в том же соотношении. Среднесуточный прирост варьировал у баранчиков от 306 г в первый месяц до 180 г в четвертый месяц после рождения. У ярочек этот показатель был на 5-10 % ниже. По итогам исследований можно сделать заключение о том, что повысить сохранность и живую массу молодняка, полученного от овцематок породы советский меринос при подготовке его к реализации на мясо, можно путём использования в системе разведения баранов породы дорпер.

The article summarizes the results of assessing the reproductive qualities of Soviet Merino sheep inseminated by dorper sheep, as well as the growth and development of the resulting crossbred young in the suckling period. 59 lambs were received from the ewes of the 2 experimental group, which is more than

in the control group by 6 heads or by 11,3%, respectively. It should be noted that in the 2 experimental group, five ewes had twins, while in the control group only one had twins. The safety of purebred young animals in the suckling period was 94,3%, which is less than that of crossbred lambs of group 2 by 2,3 %. As a result, the fertility of sheep 2 experimental group was higher by 10,0%. The greatest live weight at birth had crossbred lambs 2 groups. Superiority over the control group of sheep was 21,1 %, at the age of 1, 2, 3 and 4 months 16,9; 16,2; 16,6 and 17,6%, respectively, which can be explained by the influence of the breed dorper. The level of confidence of the difference between the groups was very high ($P > 0,999$). Sheep on live weight inferior ram, due to sexual dimorphism in all studied periods. But the trend of superiority of the live weight of the experimental group over the control remained, approximately, in the same ratio. The average daily gain varied in rams from 306 g in the first month to 180 g in the fourth month after birth. Have bright this figure was on 5 -10 % below. Thus, as a result of researches it is established that the effective combination of crossing allowing to increase safety and live weight of young growth, it is possible to consider use of rams of breed dorper on uterus of breed the Soviet Merino.

Ключевые слова: промышленное скрещивание овец, порода дорпер, порода советский меринос, воспроизводительные качества овец, рост ягнят, развитие ягнят, сохранность помесных ягнят, помесные ягнята.

Key words: industrial crossing, dorper and Soviet Merino breeds, reproductive qualities, growth, development and safety of crossbred lambs.

Цитирование. Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Дегтярь А. С., Дегтярь С. В.. Воспроизводительные качества мериносовых овцематок и рост ягнят в подсосный период при скрещивании с баранами породы дорпер. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 179-185. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-22.

Citation. Kolosov Yu.A., Chamurliiev N.G., Degtyar A.S., Degtyar S.V. (. Reproductive qualities of merino ewes and the growth of lambs in the suckling period during crossing with sheep of the Dorper breed. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 179-185 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-22.

Введение. Экономический мониторинг отрасли овцеводства указывает на приоритет мясной продуктивности. Однако в структуре пород овец Российской Федерации наибольший удельный вес по-прежнему занимают тонкорунные. Эти животные по показателям мясной продуктивности, к которым относятся среднесуточные приросты, убойные качества, вкусовые достоинства мяса и ряд других свойств, уступают скороспелым мясошерстным овцам. В то же время, как в нашей стране, так и за рубежом имеется целый ряд исследований, в которых доказано, что для повышения мясной продуктивности овец целесообразно использовать промышленное скрещивание с баранами интенсивных мясошерстных пород [1, 3]. Проблематика повышения уровня мясной продуктивности овец в новых экономических условиях в последнее десятилетие приобрела приоритетный характер [4]. Особое значение этот вид продуктивности овец получил на фоне экономических санкций, введенных странами Евросоюза и США, ранее осуществлявшими с Российской Федерацией активное экономическое сотрудничество [5].

Наращивание объемов производства баранины осуществляется за счет использования организационных, технологических, селекционных и ряда других методов и приемов ведения овцеводства. Среди средств селекции можно отметить использование метода зависимых уровней отбора, компьютерные технологии оценки племенной ценности, геномную селекцию, различные виды скрещивания и т. д [2, 4, 6].

Плодовитость маток наряду с другими качествами овец является одним из наиболее важных показателей, влияющих на мясную продуктивность, а следовательно, и на рентабельность производства продукции овцеводства. Кроме того, получение максимального количества ягнят к отбивке не только обеспечивает высокую эффективность овцеводства, но и позволяет качественно провести селекционно-племенную работу, в части замены малопродуктивного поголовья на более продуктивное [10].

Такой селекционный признак, как многоплодие у овцематок, по нашим исследованиям, которые согласуются с мнением ряда других авторов, можно совершенствовать как внутривидовым отбором и подбором, так и посредством межвидового скрещивания [11, 12].

Однако исследователями установлено также, что не всякое сочетание пород при скрещивании дает планируемый результат. К сожалению, оптимальных схем скрещивания, с учетом пород и регионов их разведения на данный момент разработано мало, и даже задекларированные как эффективные на практике не всегда оказываются безусловно таковыми [7, 8, 9]. Поэтому желателен поиск новых породных сочетаний, в том числе и с привлечением мировых ресурсов.

В связи с этим целью наших исследований явилось изучение эффективности скрещивания чистопородных маток породы советский меринос с баранами породы дорпер. Эта порода, выведенная в ЮАР в прошлом веке, получила общемировое распространение в силу сочетания многих желательных качеств на фоне высокой мясной продуктивности. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- определить репродуктивные способности овцематок породы советский меринос при чистопородном разведении и скрещивании с баранами породы дорпер;
- изучить изменения живой массы чистопородного и помесного молодняка в подсосный период в динамике.

Материалы и методы. Научно-производственный опыт проводился в ООО «Князь Владимир» Заветинского района Ростовской области в 2017-2018 годах по схеме, представленной в таблице 1.

Для проведения эксперимента было сформировано 2 группы овцематок породы советский меринос по принципу пар-аналогов в возрасте 2,5 года по 50 голов, которые содержались в одной отаре.

Таблица 1 – Схема опыта

Table 1 – Scheme of experience

Группа/ Group	Порода / Breed				Кровность потомства / Blood offspring
	Бараны / Rams	n	Матки / Uterus	n	
1	Советский меринос / Soviet merino	3	Советский меринос / Soviet merino	50	CM ¹
2	Дорпер / Dorper	3	Советский меринос / Soviet merino	50	1/2 Д ² + 1/2CM

Примечание: 1 – советский меринос, 2 – дорпер / Note: 1 - Soviet merino, 2 - Dorper

Овцематки первой группы осеменялись семенем баранов-производителей породы советский меринос и служили контролем, второй группы – семенем баранов-производителей дорпер.

Для оценки плодовитости овцематок использовали ГОСТ 25955-83, согласно которому данный признак определяется как отношение количества полученных ягнят к количеству обьягнвившихся маток, выраженное в процентах. Сохранность полученных при ягнении животных определяли в 4 месяца. Алгоритмом служило отношение количества отнятых ягнят к количеству живых ягнят при рождении, выраженное в процентах.

Осеменение овцематок советский меринос баранами дорпер проводили в ноябре, окот проходил соответственно в апреле. После окота ягнят и овцематок содержали на пастбище.

Для учета роста молодняка проводилось ежемесячное взвешивание, на основании которого вычисляли абсолютный и среднесуточный приросты живой массы. Первичные материалы исследований подвергали биометрической обработке по алгоритмам, предложенным Плохинским Н. А., 1969 и Меркурьевой Е. К., 1970, а различия оценивали по критериям достоверности Стьюдента.

Результаты и обсуждение. По итогам осеменения и ягнения, а также по учету сохранности ягнят в период их содержания под овцематками были установлены главные параметры воспроизводительных качеств овцематок. Так, оплодотворяемость у овцематок опытной группы была на 2 % выше по сравнению с контролем (таблица 2).

Данный факт, несмотря на недостоверную разницу, можно рассматривать, как позитивную тенденцию в анализируемом варианте скрещивания. По результатам ягнения от овцематок опытной группы было получено 59 ягнят, что больше, чем в контрольной группе на 6 голов, или на 11,3 % соответственно. Образовавшееся превосходство стало следствием того, что во 2 группе у пяти овцематок родились двойни, тогда как в контрольной группе только одна овцематка привела двойню.

Сохранность чистопородного молодняка в подсосный период составила 94,3 %, что меньше, чем у помесных ягнят 2 группы, на 2,3 %. В результате плодовитость маток 2 опытной группы была выше на 10,0 %.

Таблица 2 – Воспроизводительная способность маток

Table 2 – Reproductive capacity of queens

Показатель / Indicator	Тип рождения / Type of birth	Пол / ♂, ♀	Группа / Group	
			1	2
Осеменено маток, гол. / Inseminated queen bees, heads			50	50
Объгнилось маток, гол. / Embrace Queens, heads			48	49
Оплодотворяемость, % / Fertility, %			96	98
Получено приплода, гол. / Got offspring, heads	Одинцы / alone	б (♂)	24	26
		я (♀)	27	23
	Двойни / twins	б (♂)		5
		я (♀)	2	5
Всего получено ягнят, гол. / Total received lambs, heads			53	59
Количество ягнят к отбивке, гол. / The number of lambs to beating, heads			50	57
Сохранность ягнят: % / The safety of the lambs: %			94,3	96,6
Плодовитость маток, % / Uterine Fertility, %			110,4	120,4

Изложенные выше данные и их анализ позволяют сделать заключение о том, что использование баранов породы дорпер для осеменения овцематок породы советский меринос повысило плодовитость в опытной группе на 10%. Анализируемая комбинация скрещивания пород овец дает основание предполагать, что помесные ягнята, будучи гетерозиготными, были более жизнеспособными, чем чистопородные, на что указывает уровень сохранности молодняка к отъему в подопытных группах.

Изменение живой массы может служить одним из основных показателей роста животных и является важным критерием отбора. Результаты взвешивания, особенно на первом этапе жизни ягнёнка, имеют тесную связь с материнскими качествами овцематок, а следовательно, трактуются как воспроизводительные качества. Динамика этого показателя изучалась нами ежемесячно и приведена ниже (таблица 3).

Ягнята 2 группы имели превосходство над контрольной группой на всём этапе наблюдений. Оно составило по баранчикам при рождении 21,1 %, в возрасте 1 месяца – 16,9; 2 – 16,2; 3 – 16,6 и 4 месяцев – 17,6 % соответственно, что можно объяснить влиянием породы дорпер. Уровень достоверности разницы между группами был очень высоким ($P > 0,999$).

Таблица 3 – Живая масса ягнят в подсосный период, кг (n=20)

Table 3 – Live weight of lambs in the suckling period, kg (n=20)

Возраст, мес./ Age, month	Группа / Group			
	1		2	
	баранчики / rams	ярочки / bright	баранчики / rams	ярочки / bright
при рождении / at birth	3,8±0,09	3,1±0,12	4,6±0,05	3,7±0,11
1	11,8±0,15	10,7±0,17	13,8±0,21	12,4±0,14
2	17,3±0,22	15,8±0,25	20,1±0,27	18,3±0,24
3	22,3±0,31	20,4±0,27	26,0±0,26	23,7±0,28
4	26,7±0,35	24,2±0,38	31,4±0,37	28,6±0,41

Ярочки по живой массе вследствие полового диморфизма уступали баранчикам во все исследуемые периоды. Превосходство помесных ярочек 2 группы над сверстницами контрольной группы составило: при рождении – 19,4 %, а в возрасте 1, 2, 3 и 4 месяцев – 15,9; 15,8; 16,2 и 18,2 % соответственно при уровне достоверности ($P>0,999$).

В первый месяц жизни помесные баранчики 2 группы превосходили чистопородных по показателям абсолютного и среднесуточного приростов на 1,2 кг и 40 г или на % (таблица 4). В дальнейшие возрастные периоды сохранилась аналогичная тенденция. Максимальные показатели анализируемых признаков имели помеси, полученные от скрещивания с породой дорпер. Баранчики второй группы превосходили чистопородных сверстников в возрасте 2, 3 и 4 месяцев по абсолютному и среднесуточному приросту на 0,8 кг и 26,7 г; 0,9 кг и 30 г; 1 кг и 33,4 г соответственно.

Таблица 4 – Динамика абсолютного прироста живой массы и скорости роста ягнят в подсосный период (n=20)

Table 4 – Dynamics of absolute growth of live weight and growth rate of lambs in the suction period (n=20)

Показатель / Indicator	Группа / Group	Возраст, мес. / Age, month			
		1	2	3	4
Баранчики / Rams					
Абсолютный прирост, кг / Absolute gain, kg	1	8,0±0,17	5,5±0,11	5±0,12	4,4±0,09
	2	9,2±0,15	6,3±0,08	5,9±0,07	5,4±0,05
Среднесуточный прирост, г / The average daily gain, g	1	266,6±0,99	183,3±0,75	166,6±0,87	146,6±0,97
	2	306,6±0,74	210,0±0,81	196,6±0,91	180,0±0,93
Ярочки / Bright					
Абсолютный прирост, кг / Absolute gain, kg	1	7,6±0,08	5,1±0,07	4,6±0,10	3,8±0,12
	2	8,7±0,13	5,9±0,12	5,4±0,09	4,9±0,11
Среднесуточный прирост, г / The average daily gain, g	1	253,3±0,99	170,0±0,64	153,3±0,82	126,6±0,84
	2	290,0±0,87	196,6±0,75	180±0,91	163,3±0,76

Закключение. Установленные в нашем эксперименте закономерности и тенденции позволяют сделать заключение о том, что использование баранов породы дорпер для скрещивания с овцематками породы советский меринос позволяет достоверно повысить сохранность и живую массу молодняка в период подсосного содержания ягнят под матками.

Библиографический список

1. Абонеев В. В., Марченко В. В., Абонеева Е. В. Повышение эффективности научного обеспечения современного состояния овцеводства России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019 . № 2. С. 5-10.
2. Двалишвили В. Г. Весовой рост и мясная продуктивность чистопородных и ¼ кровных по эдильблям романовских баранчиков при разной эффективности использования корма // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019 . № 2. С. 34-37.

3. Зиновьева Н. А., Давлятов Х. К. Весовой и линейный рост тонкорунного и гибридного молодняка // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019 . № 1. С. 12-15.
4. Колосов Ю. А. Использование генофонда мериносовых овец отечественной и импортной селекции для совершенствования местных мериносов // Овцы, козы, шерстяное дело. 2012. № 4. С. 13-16.
5. Колосов Ю. А. К вопросу о балансе продукции (мясо, шерсть) в тонкорунном и полутонкорунном овцеводстве // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019 . № 1. С. 4-7.
6. Корниенко П. П., Ерёменко Е. П., Масловская Н. А. Эффективность промышленного скрещивания маток породы прекос с эдильбаевскими и романовскими баранами // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019 . № 2. С. 20-22.
7. Ульянов А. Н., Куликова А. Я. Результаты прямого и реципрокного скрещивания длинношерстных овец кубанского заводского типа породы линкольн и восточнофризских // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019 . № 1. С. 2-4.
8. Чамурлиев Н. Г., Филатов А. С., Мельников А. Г. Интенсивность роста и мясные показатели баранчиков ставропольской породы и их помесей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. №2 (38). С. 176-181.
9. Чамурлиев Н. Г., Цай Е. И., Филатов А. С. Показатели продуктивности молодняка овец в зависимости от их генотипа // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. №3 (43). С. 135-141.
10. CAST/MSPI gene polymorphism and its impact on growth traits of soviet merino and salsk sheep breeds in the south european part of RUSSIA / I. F. Gorlov, N. V. Shirokova, A. V. Randelin, V. N. Voronkova, N. I. Mosolova, E. Y. Zlobina, Y. A. Kolosov, N. F. Bakoev, M. A. Leonova, S. Y. Bakoev, A. Y. Kolosov, L. V. Getmantseva // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. Vol. 40. № 4. P. 399-405.
11. Kolosov Yu., Getmantseva L., Shirokova N. Sheep breeding resources in rostov region, Russia // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. № 10. P. 1322-1324.
12. The relationship between heterosis and genetic distances based on ssr markers in helianthus annuus / A. V. Usatov, K. V. Azarin, N. V. Markin, V. E. Tikhobaeva, O. A. Usatova, M. Makarenko, A. I. Klimenko, Y. A. Kolosov, S. Bakoev, L. Getmantseva, O. F. Gorbachenko // American Journal of Agricultural and Biological Science. 2014. Vol. 9. № 3. P. 270-276.

Reference

1. Aboneev V. V., Marchenko V. V., Aboneeva E. V. Povyshenie jffektivnosti nauchnogo obespecheniya sovremennogo sostoyaniya ovcevodstva Rossii // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2019 . № 2. P. 5-10.
2. Dvalishvili V. G. Vesovoj rost i myasnaya produktivnost' chistoporodnyh i ¼ krovnyh po jdil'bayam romanovskih baranchikov pri raznoj jffektivnosti ispol'zovaniya korma // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2019 . № 2. P. 34-37.
3. Zinov'eva N. A., Davlyatov H. K. Vesovoj i linejnyj rost tonkorunnogo i gibridnogo molodnyaka // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2019 . № 1. P. 12-15.
4. Kolosov Yu. A. Ispol'zovanie genofonda merinosovyh ovec otechestvennoj i importnoj selekcii dlya sovershenstvovaniya mestnyh merinosov // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2012. № 4. P. 13-16.
5. Kolosov Yu. A. K voprosu o balanse produkcii (myaso, sherst') v tonkorunnom i polutonkorunnom ovcevodstve // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2019 . № 1. P. 4-7.
6. Kornienko P. P., Erjomenko E. P., Maslovskaya N. A. Jffektivnost' promyshlennogo skreschivaniya matok porody prekoss s jdil'baevskimi i romanovskimi baranami // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2019 . № 2. P. 20-22.
7. Ul'yanov A. N., Kulikova A. Ya. Rezul'taty pryamogo i riciproknogo skreschivaniya dlinnosherstnyh ovec kubanskogo zavodskogo tipa porody linkol'n i vostochnofrizskih // Ovcy, kozy, sherstyanoje delo. 2019 . № 1. P. 2-4.
8. Chamurlijev N. G., Filatov A. S., Mel'nikov A. G. Intensivnost' rosta i myasnye pokazateli baranchikov stavropol'skoj porody i ih pomesej // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2015. №2 (38). P. 176-181.
9. Chamurlijev N. G., Caj E. I., Filatov A. S. Pokazateli produktivnosti molodnyaka ovec v zavisimosti ot ih genotipa // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2016. №3 (43). P. 135-141.

10. CAST/MSPI gene polymorphism and its impact on growth traits of soviet merino and salsk sheep breeds in the south european part of RUSSIA / I. F. Gorlov, N. V. Shirokova, A. V. Randalin, V. N. Voronkova, N. I. Mosolova, E. Y. Zlobina, Y. A. Kolosov, N. F. Bakoev, M. A. Leonova, S. Y. Bakoev, A. Y. Kolosov, L. V. Getmantseva // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. Vol. 40. № 4. P. 399-405.

11. Kolosov Yu., Getmantseva L., Shirokova N. Sheep breeding resources in rostov region, Russia // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. № 10. P. 1322-1324.

12. The relationship between heterosis and genetic distances based on ssr markers in helianthus annuus / A. V. Usatov, K. V. Azarin, N. V. Markin, V. E. Tikhobaeva, O. A. Usatova, M. Makarenko, A. I. Klimenko, Y. A. Kolosov, S. Bakoev, L. Getmantseva, O. F. Gorbachenko // American Journal of Agricultural and Biological Science. 2014. Vol. 9. № 3. P. 270-276.

Информация об авторах

Колосов Юрий Анатольевич, профессор кафедры частной зоотехнии и кормления с.-х. животных Донского государственного аграрного университета (РФ, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), доктор сельскохозяйственных наук. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6826-8009> E-mail: kolosov-dgau@mail.ru

Чамурлиев Нодари Георгиевич, профессор кафедры частной зоотехнии Волгоградского государственного аграрного университета, (РФ, 400002, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор сельскохозяйственных наук. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2421-3065> E-mail: zootexnia@mail.ru

Дегтярь Анна Сергеевна, доцент кафедры частной зоотехнии и кормления с.-х. животных Донского государственного аграрного университета (РФ, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0749-5558> E-mail: annet_c@mail.ru.

Дегтярь Сергей Владимирович, аспирант кафедры частной зоотехнии и кормления с.-х. животных Донского государственного аграрного университета (РФ, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24). ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1955-5888> E-mail: sergey.degtyar@unitile.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 637.521.473:635.621

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-23

ПРОИЗВОДСТВО РУБЛЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЫКВЕННОГО ПЮРЕ И ОРИГИНАЛЬНЫМИ СПЕЦИЯМИ

PRODUCTION OF CHOPPED SEMI-MANUFACTURED PRODUCTS WITH THE USE OF PUMPKIN PUREE AND ORIGINAL SPICE

В. Н. Храмова^{1,2}, доктор биологических наук, профессор
А. С. Филатов², доктор сельскохозяйственных наук, профессор
З. Ш. Амаханова¹, магистрант
Я. И. Храмова¹, соискатель

V. N. Khranova^{1,2}, A. S. Filatov², Z. Sh. Amakhanova¹, Ya. I. Khranova¹

¹Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

²Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

¹Volgograd State Technical University

²Federal State Budget Scientific Institution «Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products»

Дата поступления в редакцию 26.03.2019

Дата принятия к печати 15.10.2019

Received 26.03.2019

Submitted 15.10.2019

В настоящее время в мясоперерабатывающей отрасли пищевой промышленности огромное место занимает производство различных полуфабрикатов. За последнее время сегмент мясных полуфабрикатов стабильно увеличивался на 17-19%. Приведены результаты исследования пара-

метров качества и безопасности разработанных мясных рубленых полуфабрикатов. По результатам проведенных испытаний выявлено, что внесение пюре из тыквы дает положительный эффект на химический состав рубленых полуфабрикатов. Результаты показали, что предельное количество тыквенного пюре, не меняющее характерных органолептических характеристик, в частности вкуса, и способствующее сохранению консистенции, – 30 %. По результатам полученных данных отмечено в экспериментальном образце содержание белка выше, чем в контрольном на 1,08 %, содержание жира ниже – на 4,3 %, содержание углеводов выше – на 5,8 % за счет замены мясного сырья растительным пюре. Было выявлено, что введение тыквенного пюре в значительной степени способствовало повышению показателей ВСС и ВУС – на 9,1 и 11 % соответственно, в отличие от контрольного. Проведённые исследования позволили судить о положительном влиянии растительных компонентов на качественный и количественный состав рубленых полуфабрикатов.

Nowadays, the production of various semi-finished products in the meat-processing industry of the food industry takes a huge place. In recent years, the segment of meat semi-finished products has steadily increased by 17-19%. The results of a study of the quality and safety parameters of the minced meat semi-finished products are presented. According to the results of the tests, it was revealed that the addition of pumpkin puree has a positive effect on the chemical composition of minced semi-finished products. The results showed that the maximum amount of pumpkin puree, not changing the characteristic organoleptic characteristics, in particular taste, and contributing to the preservation of the consistency - 30%. According to the results obtained, the protein content in the experimental sample was higher than the control one by 1,08%, the fat content was lower by 4,3%, and the carbohydrate content was higher by 5,8% due to the replacement of raw meat with vegetable puree. It was found that the introduction of pumpkin puree significantly contributed to an increase in water-binding ability (WBA) and water-holding ability (WHA) by 9,1 and 11%, respectively, in contrast to the control. Studies have allowed to judge the positive impact of plant components on the qualitative and quantitative composition of chopped semi-finished products.

Ключевые слова: рубленые полуфабрикаты, пищевая ценность полуфабрикатов, показатели безопасности полуфабрикатов, тыквенное пюре.

Key words: chopped semi-finished products, nutritional value, safety indicators, pumpkin puree.

Цитирование. Храмова В. Н., Филатов А. С., Амаханова З. Ш., Храмова Я. И. Производство рубленых полуфабрикатов с применением тыквенного пюре и оригинальными специями. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 185-191. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-23.

Citation. Khramova V. N., Filatov A. S., Amakhanova Z. Sh. Khramova Ya. I. Production of chopped semi-manufactured products with the use of pumpkin puree and original spice. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 185-191 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-23.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №15-16-10000, ГНУ НИИМП

Введение. Рядом ученых отмечено, что в последнее время сегмент мясных полуфабрикатов стабильно увеличивался на 17-19% ежегодно в отличие от сегмента колбасных изделий, который в течение последних двух лет рос невысокими темпами – 2,8% в среднем. Согласно проведенным исследованиям, самый крупный сегмент рынка мясных полуфабрикатов – это замороженные полуфабрикаты [4, 5, 9, 14]. С ростом емкости всего рынка замороженных полуфабрикатов одновременно изменяется его структура, поскольку различные категории продуктов развиваются непропорционально [6].

Если рассматривать рынок мясных (мясосодержащих) полуфабрикатов в перспективе, то можно утверждать, что его рост продолжится. Основным фактором, оказывающим влияние на его развитие, является рост доходов населения и стремление к здоровому образу жизни [7, 13].

Сложившиеся условия не дают предприятиям возможности сохранить высокий уровень качества производимой продукции при прежних ценах. Единственным выходом является рост производства мясных продуктов с наполнителями растительного

происхождения [8, 12]. Подобные комбинации дают возможность снизить себестоимость производимой мясной продукции и параллельно сохранить питательную и биологическую ценность готового продукта.

Целью исследований было оценить влияние тыквенного пюре на качество рубленых замороженных котлет.

Материалы и методы. Экспериментальную часть работы проводили на кафедре «Технология пищевых производств» ФГБОУ ВО ВолгГТУ и в комплексной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП. Объекты исследований – модельные образцы фаршей рубленых полуфабрикатов с тыквенным пюре (экспериментальные) и без него (контрольный). Физико-химические исследования проведены согласно седующим ГОСТ: определение массовой доли белка по ГОСТ 25011-81, массовой доли жира – по ГОСТ 042-86, углеводов – по ГОСТ 34134-2017, золы – по ГОСТ Р 51432-99 и рекомендациям. Влагосвязывающую и влагоудерживающую способность определяли согласно рекомендациям.

Методы отбора проб и подготовка к микробиологическим исследованиям производились согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». В полуфабрикатах определяли общее микробное число (КМАФАнМ, КОЕ/г), наличие БГКП (колиформных бактерий), сальмонелл.

Результаты. Часто изделия, сохраняя форму и консистенцию в замороженном виде, при термообработке могут стать рыхлыми и даже полностью потерять свою плотность. Сохранение плотности структуры рубленых полуфабрикатов при больших заменах мясного сырья является важной и труднорешаемой задачей. Поэтому было решено экспериментальным путем разработать рецептуру с учетом влияния количества вносимого тыквенного пюре. Было определено, что предельное количество тыквенного пюре, не меняющее характерных органолептических характеристик, в частности вкуса, и способствующее сохранению консистенции, – 30 % [2, 3, 10].

Обсуждение. Для оценки химического состава продукта и оценки восполнения потребности организма человека в нутриентах был произведен физико-химический анализ готового продукта в сравнении с контролем, не имеющим в составе тыквенное пюре [1, 15, 16].

Результаты проиллюстрированы на рисунке 1.

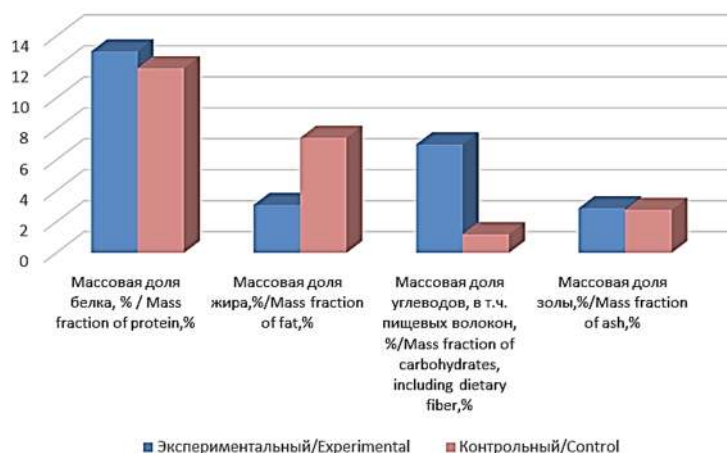


Рисунок 1– Результаты физико-химического анализа

Figure 1 – Results of physico-chemical analysis

Анализируя полученные данные, отметим, что в экспериментальном образце содержание белка выше, чем в контрольном на 1,08 %, содержание жира ниже – на 4,3 %, содержание углеводов выше – на 5,8 % за счет замены мясного сырья растительным пюре. Массовая доля влаги 63,0 % для экспериментального и 62,1 % для контрольного образцов и содержание массовой доли золы соответствовали нормативным значениям.

Известно, что в технологии рубленых полуфабрикатов одним из важнейших физико-химических показателей является влагоудерживающая (ВУС) и влагосвязывающая способность (ВСС), поскольку именно они определяют консистенцию готового продукта, выход и другие показатели. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

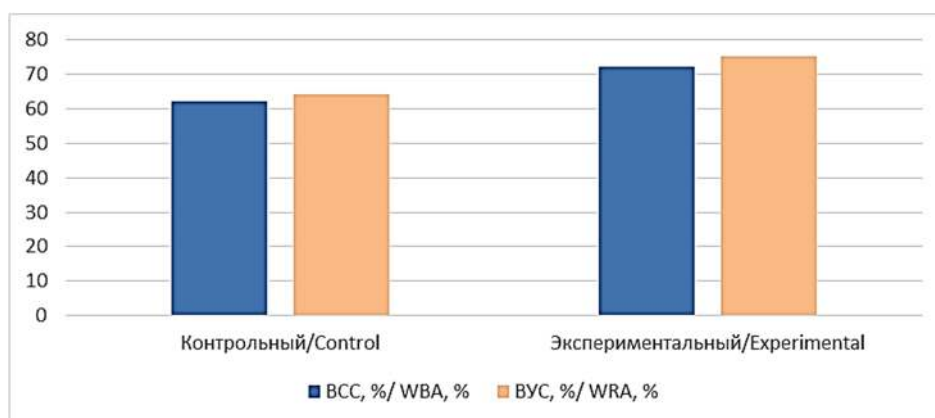


Рисунок 2 – Исследование влагосвязывающей (ВСС) и влагоудерживающей(ВУС) способностей модельных образцов

Figure 2 – The study of water-binding (WBA) and water-retaining (WRA) abilities of model samples

Отмечено, что введение тыквенного пюре в значительной степени способствовало повышению показателей ВСС и ВУС на 9,1 и 11% соответственно в отличие от контрольного.

По показателю восполнения суточной нормы в нутриентах получены следующие данные (таблица 1).

Таблица 1 – Восполнение суточной потребности в нутриентах (средние значения)

Table 1 – Filling the daily nutrient requirement (average values)

	Показатель/Index		
	Белки, % Proteins, %	Жиры, % Fats, %	Углеводы, % carbohydrates, %
Экспериментальный образец/ Experimental sample	15,2	7,5	6,2

Анализируя полученные данные, можно сказать, что введение тыквенного пюре повышает показатель нутриентов.

С целью оценить образцы по показателям безопасности согласно ТР ТС 034/2013[11] было проведено микробиологическое исследование готовых изделий. Результаты систематизированы в таблице 2

По результатам микробиологического анализа было выявлено, что экспериментальный образец соответствует по показателям безопасности нормативным значениям.

Таблица 2 – Микробиологические показатели образцов полуфабрикатов

Table 2 – Microbiological indicators of samples of semi-finished products

Наименование образца SampleName	Нормируемый показатель / Normalized indicator				
	КМАФАнМ, КОЕ/г не более Number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms, CFU / g no more	Масса, г, в которой не обнаружено/ Weight, g, in which notfound			Плесени, КОЕ/г Mold, CFU/g
		БГКП / Bacteria of group of intestinal sticks (coliforms)	Патогенные, вт.ч. / Pathogenic, including <i>Salmonella</i>	<i>L. monocytogenes</i>	
По ТР ТС 034/2013 According to TR CU 034/2013	$5 \cdot 10^6$	0,001	25	25	500
Контрольный образец/Control sample	$3,6 \cdot 10^4$	не обнаружены notdetected	не обнаружены notdetected	не обнаружены notdetected	5^2
Экспериментальный образец/Experimental sample	$4,2 \cdot 10^3$	не обнаружены notdetected	не обнаружены notdetected	не обнаружены notdetected	10^2

Заключение. Проведённые исследования позволили судить о положительном влиянии растительных компонентов на качественный и количественный состав рубленых полуфабрикатов. Таким образом, внесение тыквенного пюре не только позволило создать продукт с новыми органолептическими характеристиками, но и способствовало повышению биологической ценности, в частности отмечено повышение содержания белка на 1,08% и углеводов, в том числе пищевых волокон, на – 5,8 %.

Библиографический список

1. Балябина С. И., Храмова В. Н., Мгебришвили И. В. Анализ эффективности добавления растительных ингредиентов в мясной продукт // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2. С. 275-281.
2. Биотехнологический подход в производстве запечённого изделия из свинины / Т. А. Гревцова, Л. Ф. Григорян, В. Н. Храмова, И. Ф. Горлов, А. А. Короткова, Т. Ю. Животова // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 2 (45). С. 28-33.
3. Влияние растительных компонентов на характеристики полуфабрикатов рубленых в оболочке / А.Д. Тимофеева, В.Н. Храмова, К.С. Федосеев, В.В. Пузанова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С.245-251.
4. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Бушуева И. С. Улучшение потребительских свойств мясных продуктов за счет биологически активных веществ // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 5. С. 32-33.
5. Деревицкая О. К., Солдатов Н. Е. Мясные рубленые полуфабрикаты для функционального питания при диабете // Все о мясе. 2016. № 5. С. 3-7.
6. Матвеев Ю. А Сохранение качества рубленых полуфабрикатов в условиях роста цен на мясное сырье // Мясная индустрия. 2014. № 9. С. 29-30.
7. Меренкова С. П., Лукин А. А. Технологическое обоснование применения растительных добавок в рецептуре мясных полуфабрикатов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2016. Т. 4, № 3. С. 29–38. DOI: 10.14529/food160304

8. Новые тенденции в разработке и производстве мясной и молочной продукции повышенной биологической ценности: монография / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, В. Н. Храмова, О. П. Серова, А. А. Короткова, Л. Ф. Григорян, И. В. Мгебришвили, Н. И. Мосолова, Е. Ю. Злобина, Р. С. Омаров; ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции», ФГБОУ ВО «Волгоградский гос. техн. ун-т». Волгоград, 2018. 119 с.
9. Основы современных аспектов технологии мясопродуктов / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, В. Н. Храмова, Е. А. Селезнева: монография. Волгоград, 2013. 83 с.
10. Полуфабрикаты рубленые, обогащённые растительными компонентами / В. Н. Храмова, И. Ф. Горлов, И. П. Жирновников, А. О. Жирновникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1. С. 249-254.
11. Преимущества использования регионального сырья при производстве полуфабрикатов рубленых в оболочке / А. Д. Черкунова, В. Н. Храмова, И. В. Мгебришвили, Т. Ю. Животова // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 3 (46). С. 82-88.
12. Разработка мясных продуктов функционального назначения с использованием пребиотиков и растительных компонентов регионального происхождения / В. Н. Храмова, И. Ф. Горлов, В. А. Долгова, Я. И. Храмова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3. С. 170-174.
13. Структурные сдвиги в производстве полуфабрикатов / Н. Ф. Небурчилова, И. П. Волинская, И. В. Петрунина, А. С. Чернова // Мясная индустрия. 2013. № 12. С. 6-9.
14. Эффективность использования растительных компонентов в функциональных продуктах / А. Т. Инербаева, В. А. Углов, Е. В. Бородай, В. А. Слепчук // Ползуновский вестник. 2016. № 4-2. С. 18-22.
15. Regression Models for Predicting Production of Bacteria Breathing Cattle Breeds [Electronic Resource] / I. F. Gorlov, O.P. Shahbazova, M. I. Slozhenkina, R. G. Radjabov, A. V. Randelin, N. V. Ivanova, N. I. Mosolova, I. M. Volokhov, V. N. Khramova, E. Yu. Zlobina // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS): [On-line Journal] (India). 2018. Vol. 9, Issue 6(November–December) P.565571.URL: http://www.rjpbc.com/2018_9.6.html.
16. The use of extruded food additives when creating specialized foods / I. F Gorlov, I. M. Volokhov, V. N. Hramova, M. I. Slozhenkina, Y. V. Avdalyan, O. P. Serova, N. F. Shchegolkov // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. Issue 13 (December). P. 1122-1129.

Reference

1. Balyabina S. I., Hramova V. N., Mgebrishvili I. V. Analiz jeffektivnosti dobavleniya rastitel'nyh ingredientov v myasnoj produkt // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2016. № 2. P. 275-281
2. Biotehnologicheskij podhod v proizvodstve zapechjonogo izdeliya iz svininy / T. A. Grevcova, L. F. Grigoryan, V. N. Hramova, I. F. Gorlov, A. A. Kороткова, T. Yu. Zhivotova // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2017. № 2 (45). P. 28-33.
3. Vliyanie rastitel'nyh komponentov na harakteristiki polufabrikatov rublennyh v obolochke / A. D. Timofeeva, V. N. Hramova, K. S. Fedoseev, V. V. Puzanova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 2 (50). P. 245-251.
4. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Bushueva I. S. Uluchshenie potrebitel'skih svojstv myasnyh produktov za schet biologicheskii aktivnyh veschestv // Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya. 2013. № 5. P. 32-33.
5. Derevickaya O. K., Soldatova N. E. Myasnye rublenye polufabrikaty dlya funkcional'nogo pitaniya pri diabete // Vse o myase. 2016. № 5. P. 3-7.
6. Matveev Yu. A Sohranenie kachestva rublennyh polufabrikatov v usloviyah rosta cen na myasnoe syr'e // Myasnaya industriya. 2014. № 9. P. 29-30.
7. Merenkova S. P., Lukin A. A. Tehnologicheskoe obosnovanie primeneniya rastitel'nyh dobavok v recepture myasnyh polufabrikatov // Vestnik YuUrGU. Seriya «Pischevye i biotehnologii». 2016. Vol. 4, № 3. P. 29-38. DOI: 10.14529/food160304

8. Novye tendencii v razrabotke i proizvodstve myasnoj i molochnoj produkcii povyshennoj biologicheskoy cennosti: monografiya / I. F. Gorlov, M. I. Slozhenkina, V. N. Hramova, O. P. Serova, A. A. Korotkova, L. F. Grigoryan, I. V. Mgebrishvili, N. I. Mosolova, E. Yu. Zlobina, R. S. Omarov; FGBNU «Povolzhskij NII proizvodstva i pererabotki myasomolochnoj produkcii», FGBOU VO «Volgogradskij gos. tehn. un-t». Volgograd, 2018. 119 p.

9. Osnovy sovremennyh aspektov tehnologii myasoproduktov / I. F. Gorlov, M. I. Slozhenkina, V. N. Hramova, E. A. Selezneva: monografiya. Volgograd, 2013. 83 p.

10. Polufabrikaty rublennye, obogaschjonnnye rastitel'nyimi komponentami / V. N. Hramova, I. F. Gorlov, I. P. Zhirnovnikov, A. O. Zhirnovnikova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2016. № 1. P. 249-254.

11. Preimuschestva ispol'zovaniya regional'nogo syr'ya pri proizvodstve polufabrikatov rublennyh v obolochke / A. D. Cherkunova, V. N. Hramova, I. V. Mgebrishvili, T. Yu. Zhivotova // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2017. № 3 (46). P. 82-88.

12. Razrabotka myasnyh produktov funkcional'nogo naznacheniya s ispol'zovaniem prebiotikov i rastitel'nyh komponentov regional'nogo proisxozhdeniya / V. N. Hramova, I. F. Gorlov, V. A. Dolgova, Ya. I. Hramova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2013. № 3. P. 170-174.

13. Strukturnye sdvigi v proizvodstve polufabrikatov / N. F. Neburchilova, I. P. Volynskaya, I. V. Petrunina, A. S. Chernova // Myasnaya industriya. 2013. № 12. P. 6-9.

14. Jeffectivnost' ispol'zovaniya rastitel'nyh komponentov v funkcional'nyh produktah / A. T. Inerbaeva, V. A. Uglov, E. V. Borodaj, V. A. Slepchuk // Polzunovskij vestnik. 2016. № 4-2. P. 18-22.

15. Regression Models for Predicting Production of Bacteria Breathing Cattle Breeds [Electronic Resource] / I. F. Gorlov, O.P. Shahbazova, M. I. Slozhenkina, R. G. Radjabov, A. V. Randelin, N. V. Ivanova, N. I. Mosolova, I. M. Volokhov, V. N. Khramova, E. Yu. Zlobina // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS): [On-line Journal] (India). 2018. Vol. 9, Issue 6(November–December) P.565571. URL: http://www.rjpbc.com/2018_9.6.html.

16. The use of extruded food additives when creating specialized foods / I. F. Gorlov, I. M. Volokhov, V. N. Hramova, M. I. Slozhenkina, Y. V. Avdalyan, O. P. Serova, N. F. Shchegolkov // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. Issue 13 (December). P. 1122-1129.

Информация об авторах

Храмова Валентина Николаевна, профессор кафедры «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета (РФ, 400005, Волгоград, пр. им. В.И.Ленина, 28), доктор биологических наук, декан факультета «Технология пищевых производств», Hramova_vn@vstu.ru

Филатов Александр Сергеевич, главный научный сотрудник отдела по хранению и переработке сельскохозяйственной продукции Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции (РФ, 400131, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), доктор сельскохозяйственных наук, профессор ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3550-4324> E-mail: niimmp@mail.ru

Амаханова Зарина Шукюровна, магистрант кафедры «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета (РФ, 400005, Волгоград, пр. им. В.И.Ленина, 28), Amahanova.zarina@yandex.ru

Храмова Ярославна Игоревна, соискатель кафедры «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета (РФ, 400005, Волгоград, пр. им. В.И.Ленина, 28), yaroslavnahramova222@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

УДК: 631.67:581.55

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-24

**МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ
«АГРОФИТОЦЕНОЗ – ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА» С РЕГУЛЯТОРАМИ
HEART TRANSFER MODEL IN THE SISTEM «AGROPHYTOCENISIS –
ENVIRONMENT» WITH REGULATORS**

В. В. Бородычев, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

М. Н. Лытов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

V. V. Borodychev, M. N. Lytov

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова*

*Federal State Budget Science Center «All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics
and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»*

Дата поступления в редакцию 8.11.2019
Received 8.11.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019
Submitted 20.12.2019

Исследование выполнено в рамках актуальной проблематики современной аграрной науки, предполагающей теоретическое обоснование и разработку новых технологий регулирования гидротермического режима агрофитоценоза как условия оптимального развития сельскохозяйственных растений и комплексной протекции посевов от климатических рисков. Цель исследования сводится к изучению механизмов теплопередачи и построению модели теплообмена в системе «агрофитоценоз-окружающая среда» с интегрированными технологиями – регуляторами процесса. Объектом исследования является система «агрофитоценоз-окружающая среда» для посевов сельскохозяйственных культур открытого грунта. В качестве регуляторов рассматриваются исключительно гидромелиоративные технологии, а также элементы и функции, им соответствующие. В методологическом отношении модель сформулирована на основе единого концептуального «кластера», включающего источник как объект, от которого направлен вектор рассматриваемого процесса, факторы, процесс, объекты и состояние. Внутреннюю систему агрофитоценоза образуют растительный покров, приземный слой атмосферы в границах объема, занимаемого растительным покровом, поверхность и корнеобитаемый слой почвы. Такие объекты, как почвогрунт, расположенный ниже корнеобитаемого слоя почвы, грунтовые воды, атмосфера и солнце, являются объектами окружающей среды. Процессы теплообмена сгруппированы относительно трех известных в природе механизмов теплопередачи, которые задействованы в формировании теплового баланса агрофитоценозов. Описаны процессы передачи тепла излучением, конвекцией и теплопроводностью, для каждой из этих групп показан состав процессов теплообмена, так или иначе взаимодействующих с системой агрофитоценоза и оказывающих влияние на ее тепловой баланс. Рассмотрены физика процессов и основные физические модели, решающие задачи теплового и массо-энергетического переноса. В модель интегрирована система регуляторов, позволяющих оказывать направленное воздействие на процессы тепло-массопереноса в системе агрофитоценоза, а также на тепло-массообмен с объектами окружающей среды. Раскрыты возможности использования различных гидромелиоративных технологий для регулирования этих процессов.

The study was carried out within the framework of the urgent problems of modern agrarian science, which involves the theoretical justification and development of new technologies for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis as a condition for the optimal development of agricultural plants and the integrated protection of crops from climatic risks. The purpose of the study is to study the mechanisms of heat transfer and build a heat transfer model in the system «agrophytocenosis-environment» with integrated technologies - process controllers. The object of research is the sys-

tem «agrophytocenosis-environment» for sowing agricultural crops of open ground. Only irrigation and drainage technologies, as well as elements and functions corresponding to them, are considered as regulators. In methodological terms, the model is formulated on the basis of a single conceptual “cluster”, including - the source, as the object from which the vector of the process under consideration is directed, factors, process, objects and state. The internal system of agrophytocenosis is formed by vegetation, the surface layer of the atmosphere within the boundaries of the volume occupied by vegetation, the surface and the root layer of the soil. Objects such as soil below the root layer of the soil, groundwater, the atmosphere and the sun are objects of the environment. Heat transfer processes are grouped relative to three heat transfer mechanisms known in nature that are involved in the formation of the heat balance of agrophytocenoses. The processes of heat transfer by radiation, convection and thermal conductivity are described; for each of these groups, the composition of heat transfer processes is shown that interact in one way or another with the agrophytocenosis system and affect its heat balance. The physics of processes and the basic physical models that solve the problems of heat and mass-energy transfer are considered. A system of regulators is integrated into the model, which make it possible to have a directed effect on the processes of heat and mass transfer in the agrophytocenosis system, as well as on heat and mass transfer with environmental objects. The possibilities of using various irrigation and drainage technologies to regulate these processes are disclosed.

Ключевые слова: агрофитоценозы, гидротермические режимы агрофитоценозов, теплообмен, теплопроводность, регуляторы теплообмена, система «агрофитоценоз-окружающая среда».

Key words: agrophytocenosis, hydrothermal regime, heat exchange, heat conduction, convection, radiation, heat transfer regulators.

Цитирование. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Модель теплообмена в системе «агрофитоценоз – окружающая среда» с регуляторами. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 192-203. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-24.

Citation. Borodychev V. V., Lytov M. N. Heat transfer model in the system «agrophytocenosis – environment» with regulators. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 192-203 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-24.

Исследование выполнено в рамках финансирования государственного заказа по заданию № 0573-2019-0017 «Разработать научные основы и технологические приемы комплексного регулирования агрофитоценоза для повышения природно-ресурсного потенциала, создания новых конструкций гидромелиоративных систем и автоматизированных комплексов машин для производства мелиоративных работ»

Введение. Проблематика исследования посвящена решению многогранной задачи системного регулирования гидротермического режима агрофитоценоза как условия оптимального развития сельскохозяйственных растений и комплексной протекции от климатических рисков. Формирование гидротермического режима агрофитоценоза является результатом сложно организованной совокупности процессов, определяющих в совокупности тепловой и водный режимы и составляющих рассматриваемый ценоз растений [1, 3, 6, 9]. Важным моментом, имеющим прямое отношение к формированию гидротермического режима агрофитоценоза, является то, что определяющие его процессы не всегда можно описать только с позиций физики. Ведь основным рассматриваемым в рамках решаемой задачи объектом являются растения, а значит, имеет место биологическое регулирование процессов. Требование учета биологических механизмов в регулировании процессов, определяющих гидротермический режим агрофитоценоза, усложняет задачу, так как требует изучения и нормирования физиологических реакций растений [11, 13, 15].

Проблема качественных и количественных оценок формирования гидротермического режима агрофитоценоза, вообще говоря, комплексная, то есть процессы его формирования тесно взаимосвязаны, в ряде случаев это стороны одного физи-

ческого явления [12]. В то же время важно изучить каждый из этих процессов в отдельности, оценить его вклад в формирование гидротермического режима, а также условия, в которых процесс реализуется и которые определяют его направленность и динамику. В этой связи мы приняли решение рассматривать процессы теплообмена и водообмена в рамках системы «агрофитоценоз – окружающая среда» отдельно, предполагая возможность их алгебраического сложения. Цель настоящего исследования сводится к изучению механизмов теплопередачи и построению модели теплообмена в системе «агрофитоценоз-окружающая среда» с интегрированными технологиями – регуляторами процесса.

Материалы и методы. Особенностью разрабатываемой модели теплообмена в системе агрофитоценоза является введение в нее регуляторов. Регуляторы в этом плане рассматриваются как самостоятельные технологии либо сопутствующие функции технологий, оказывающие влияние на динамику процессов (как совокупности, так и одного процесса), определяющих формирование теплового режима агрофитоценоза. Регуляторы теплового режима агрофитоценоза предполагают реализацию в самых разнообразных технологиях. В этом плане могут (и должны) рассматриваться элементы классической агротехники сельскохозяйственных культур, специальные агротехнические приемы, оказывающие влияние на динамику теплообмена в системе [8]. Однако в контексте настоящего исследования в качестве регуляторов рассматриваются исключительно гидромелиоративные технологии, а также элементы и функции, им соответствующие.

Гидротермический режим агрофитоценоза является по определению динамической характеристикой условий формирования урожая сельскохозяйственных культур [3]. В связи с этим процессы, определяющие формирование теплообмена в системе агрофитоценоза, составляют основу разрабатываемой модели. Вместе с тем процесс не существует сам по себе, а имеет прямое отношение к вовлеченным в него объектам, изменяющимся в результате факторам, параметрам состояния. Поэтому в методологическом плане важно учитывать все это качественное многообразие показателей со взаимосвязями и причинно-следственными отношениями, описание которых предпочтительно представить в единой форме. Такого рода «кластер» модели формирования теплового режима агрофитоценоза включает (рисунок 1):

- источник. Это объект, от которого направлен вектор рассматриваемого процесса, является источником тепло- и массообмена в системе, определяет факторы и направленность процесса. В качестве источника могут рассматриваться как объекты системы, так и внесистемные объекты окружающей среды;

- факторы. Под факторами здесь подразумеваются те природные явления, как исключительно физического плана, так и обусловленные биологией возделываемых культур, посредством которых реализуется процесс. К примеру, в процессе переноса тепла солнечной энергии такими факторами являются прямая или рассеянная солнечная радиация.

- процесс. В рамках разрабатываемой модели рассматриваются процессы теплообмена. Учитывается, что существуют разные способы передачи тепла и каждому из них присущи свои физические особенности. Процессы, имеющие различную физическую природу, рассматриваются отдельно. Кроме того, процессы требуются дифференцировать по природе источника, что определяет совокупность присущих им характеристик и направление вектора. Это определяет многообразие тех процессов, которые необходимо учитывать при составлении теплового баланса агрофитоценоза;

– объекты. Под объектами здесь подразумеваются элементы системы, подвергающиеся воздействию в результате осуществления процесса. В общем случае источники для одних процессов могут рассматриваться в качестве объектов воздействия в других процессах;

– состояние. Состояние определяется количественным соотношением характеризующих его параметров либо какого-то одного характеристически превалирующего параметра. При этом параметры изменяются под воздействием процесса.

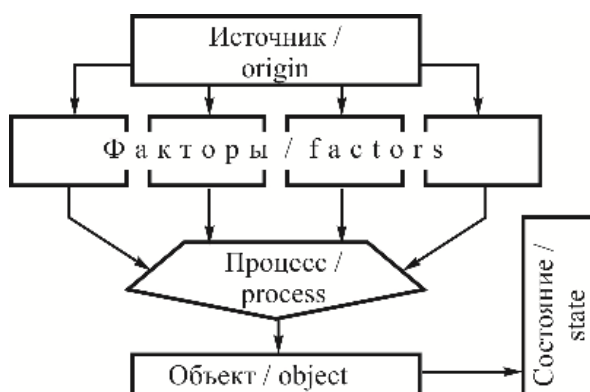


Рисунок 1 – Структура одновекторного кластера модели формирования теплового режима агрофитоценоза

Figure 1 – The structure of a one-vector cluster model of the formation of the thermal regime of agrophytocenosis

Результаты и обсуждение. Поскольку задача сводится к моделированию теплообмена в системе агрофитоценоза, естественно, что ключевым объектом модели должны стать сельскохозяйственные растения, сообщество которых и образует указанный выше ценоз (рисунок 2).

Однако здесь необходимо учитывать и средовое положение отдельных частей и органов растений, которое определяет физику процесса теплообмена. Так, например, корневую систему растений, имеющую, безусловно, важнейшее физиологическое значение с точки зрения теплообмена, вряд ли стоит дифференцировать от среды ее расположения – почвы. Температура корней растений напрямую соотносится с температурой почвы, в которой они располагаются. Поэтому в модели было целесообразно выделить в качестве объекта корнеобитаемый слой почвы, предполагая, что температура корня будет такой же, как и температура среды его размещения.

Теплообмен надземной части растений со средой ее размещения принципиально иной, что требует выделения растительного покрова как самостоятельного объекта модели. Среда размещения растительного покрова – это атмосфера. Однако, с точки зрения физики процессов, важно выделить тот приземный слой атмосферы, который непосредственно ограничивается объемом, занимаемым растительным покровом. В предложенной модели это самостоятельный объект, также как и, собственно, атмосфера, с которой теплообмен осуществляется, преимущественно посредством конвективного теплопереноса.

Другими объектами модели являются поверхность почвы, почвогрунт, то есть тот слой почвы и подстилающих ее пород, который располагается ниже уровня размещения корневой системы растений, грунтовые воды. Модель теплообмена, безусловно, включает и солнце, лучевая энергия которого является основным источником тепла для всех рассмотренных выше уровней модели.

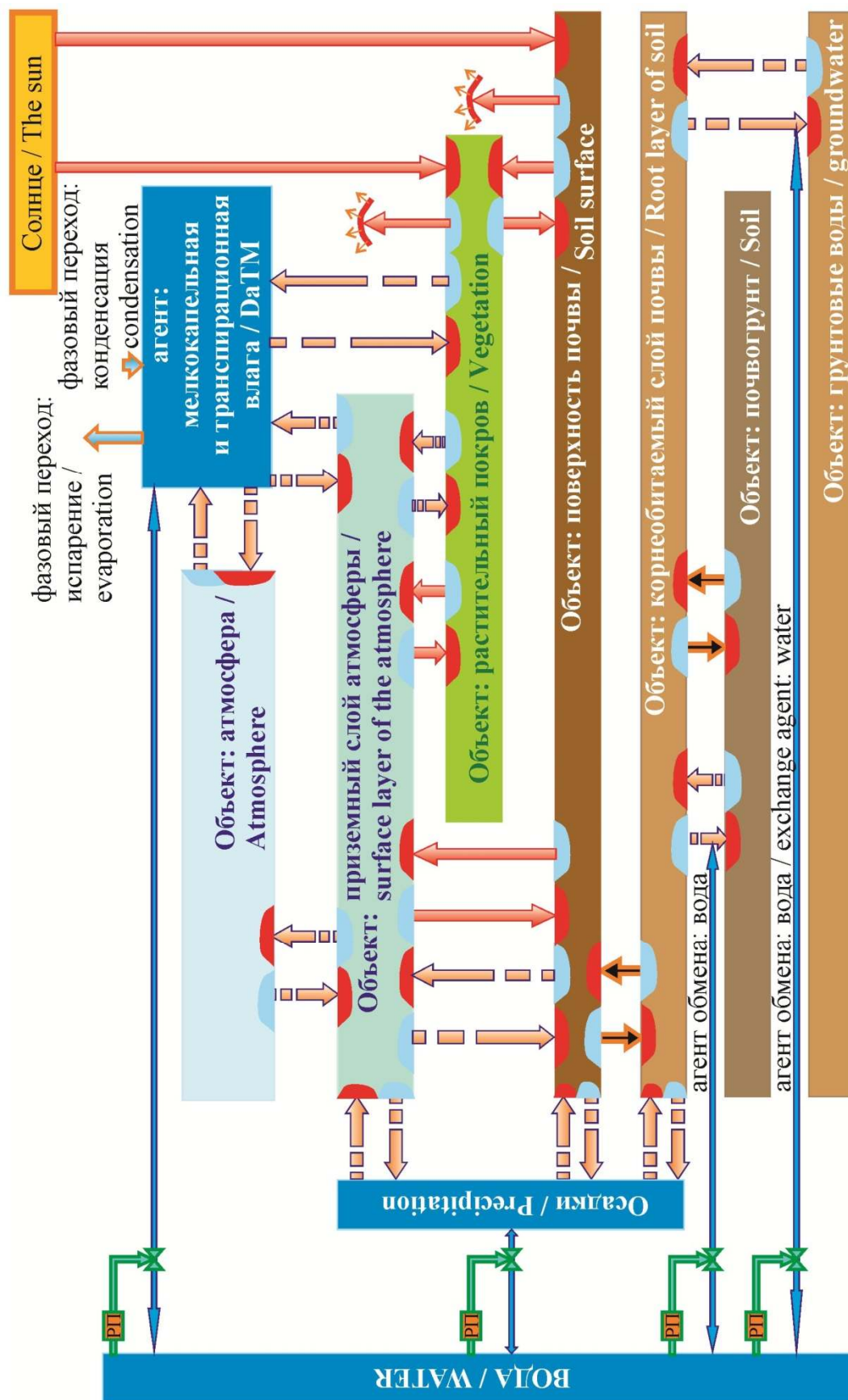


Рисунок 2 – Модель теплообмена в системе «агрофитоценоз-окружающая среда»

Figure 2 - Model of heat transfer in the system «agrophytocenosis-environment»

Таблица 1 – Экспликация обозначений к рисунку 2

Table 1 – Explication of notation to figure 2

№ п/п	Элемент / Designation	Значение / Value
1		Передача тепла излучением / Heat transfer by radiation
2		Излучение в окружающую среду / Emissions to the environment
3		Теплота фазового перехода воды / The heat of the phase transition of water
4		Кондуктивный теплообмен (теплопроводность) / Thermal conductivity
5		Передача тепла конвекцией / Convection heat transfer
6		Передача тепла посредством агента обмена: воды / Heat transfer through an exchange agent: water
7		Нагрев объекта / Object heating
8		Охлаждение объекта / Object cooling
9		Регулятор процесса / Process controller
10	DaTM	Агент: мелкокапельная и транспирационная влага / Agent: droplet and transpiration moisture

Вода как компонент среды, присущий каждому из перечисленных выше объектов, рассматривается как агент теплообменных процессов [2, 10]. Действительно, вода в той или иной форме содержится и в атмосфере, и в приземном ее слое, и в почве, увеличивая динамику теплообменных процессов, являясь их проводником в физически существенно различающихся средах. В частности, это и позволяет использовать гидромелиоративные технологии в качестве регуляторов теплообмена в системе «агрофитоценоз-окружающая среда».

Предполагается, что объекты модели в результате теплообменных процессов изменяют свое состояние, которое может характеризоваться количеством теплоты или (что предпочтительнее с точки зрения физиологии растений) температурой. Поскольку задача ставится относительно гидротермического режима агрофитоценоза, то прежде всего нас интересует состояние объектов, имеющих к нему прямое отношение. Решение задачи относительно этих объектов должно быть максимально точное, тогда как относительно объектов окружающей среды иногда достаточно и качественного определения процесса. Какие же объекты модели имеют непосредственное отношение к формированию гидротермического режима агрофитоценоза? Во-первых, поскольку агрофитоценоз – это сообщество сельскохозяйственных растений, то растительный покров, без сомнения, один из таких объектов. Но растительный покров не включает корневую систему растений, температура которой в модели приравнена к температуре почвы. Поэтому корнеобитаемый слой почвы также следует отнести к системе объектов, имеющих непосредственное отношение к формированию гидротермического режима агрофитоценоза. Другими объектами системы являются:

– поверхность почвы. Рассматриваемый как плоскость, этот объект играет важную роль в формировании теплообменных процессов с корнеобитаемым слоем почвы, растительным покровом, во многом определяет микроклимат в среде посева;

– приземный слой атмосферы. Рассматриваемый в границах растительного покрова, этот объект характеризуется показателями микроклимата посева, имеющими большое значение в формировании вектора и динамики теплообменных процессов агрофитоценоза.

Все эти объекты образуют внутреннюю систему, характеризующуюся большим числом внутренних связей, внутренних каналов обмена энергией, заведомо превышающей число связей с объектами внешней среды. Другим характеристическим свойством, позволяющим выделить объекты системы, является высокая буферность окружающих их внесистемных объектов, или объектов окружающей среды. Например, конвективный теплообмен атмосферы имеет большое значение в формировании микроклимата посева, но вряд ли микроклимат посева оказывает заметное влияние на состояние атмосферы. Лучевая энергия солнца является решающим фактором в формировании теплового режима посева, однако трудно себе представить, чтобы тепловое излучение растительного покрова или поверхности почвы имело значение в формировании теплового баланса Солнца.

Рассмотрим подробнее процессы, характеризующие тепловой обмен внутри описанной выше системы, а также с объектами внешней по отношению к этой системы среды. В природе известны три механизма теплопередачи, и все они задействованы в формировании теплового баланса агрофитоценозов. В модели виды теплопередачи используются для группировки процессов, что позволяет в определенной мере использовать общие законы и облегчает решение задачи для всей совокупности процессов. Передача тепла осуществляется излучением, конвекцией и теплопроводностью, и каждому из этих способов присущи свои физические особенности.

Излучение – одна из ведущих статей теплового баланса агрофитоценоза, с точки зрения физики процесса оно предполагает преобразование тепловой формы энергии в электромагнитную с последующим излучением ее в окружающее пространство и обратным преобразованием на границе сред объектов влияния. Характерной особенностью этого механизма теплопередачи является то, что объекты с жидкой или твердой средой поглощают (либо излучают) тепловые лучи в очень тонком слое и практически не пропускают их в своем объеме. К этим средам процесс рассматривается как поверхностный. Характер поглощения в газообразных средах иной – объемный.

Главным источником лучистой энергии на Земле в целом, и в частности для агрофитоценозов открытого грунта, является Солнце. Передаваемая с тепловыми лучами энергия поглощается поверхностью почвы и растительным покровом, а также во всем объеме атмосферы, включая имеющий преимущественное относительно решаемой задачи значение приземный слой, ограниченный объемом растительного покрова [4]. Безусловно, поглощается не вся тепловая энергия лучей. В общем случае лучистая энергия одновременно поглощается, отражается, а также может пропускаться объектом. Эти процессы характеризуются, соответственно, поглощательной, отражательной и пропускной способностью объектов.

В свою очередь, нагретая поверхность почвы излучает тепловую энергию, которая частично поглощается растительным покровом, а другой частью излучается в атмосферу и другим объектам окружающей среды. В определенных условиях тепловые лучи продуцирует и растительный покров, излучая их в открытое пространство атмосферы, а также к поверхности почвы. Собственное излучение этих объектов складывается с энергией отраженного излучения, суммируясь в так называемое «эффективное» излучение [14].

Физика лучистой формы передачи энергии в идеализированном варианте описывается законом Стефана-Больцмана:

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4,$$

где E_0 – плотность потока интегрального излучения, Вт/м²; T – температура поверхности объекта, К; σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана ($5,6687 \times 10^{-8}$ Вт/м² К⁴).

Проблема в том, что закон справедлив для идеального «черного» тела, отражательная способность которого приравнена к нулю. Лучистый теплообмен между поверхностями твердых объектов, с учетом их реальных отличий от идеализированного «черного» тела и использованием эффективных (суммарных) величин излучения, описывается уравнением вида:

$$Q_{(1 \rightarrow 2)} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \sigma_0 \cdot F_p (T_1^4 - T_2^4),$$

где $Q_{(1 \rightarrow 2)}$ – вектор теплопередачи, Вт; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент черноты системы из рассматриваемых объектов; F_p – расчетная площадь теплообмена, м²; T_1 , T_2 – температура объектов теплообмена, К.

Применительно к системам реального мира, включая рассматриваемую нами систему «агрофитоценоз-окружающая среда», уравнение предусматривает введение граничных условий и решение задачи относительно коэффициентов приведенного уравнения. Кроме того, следует учитывать, что процессы лучистого обмена в природных объектах существенным образом сложнее описываемых уравнением. Например, передача лучистой энергии от поверхности почвы в вегетативным органам растений реализуется через газовую среду приземного слоя атмосферы, которая также (в определенной мере) поглощает энергию тепловых лучей. Другой проблемной задачей является необходимость определения расчетной площади теплообмена, ведь вегетативные органы растений взаимно затеняют друг друга. Как определить реальную площадь взаимодействия? Относительно такого объекта, как солнце, вообще нельзя говорить о теплообмене. Эти особенности необходимо учитывать в реальных расчетных схемах лучистого теплообмена.

Другая значимая группа процессов в системе «агрофитоценоз – окружающая среда» описывается законами конвективного теплообмена. Конвективный теплообмен присущ всем объектам и средам моделируемой системы. Конвективный теплообмен осуществляется между слоями атмосферы, включая приземный слой, ограниченный объемом растительного покрова и характеризуемый показателями микроклимата посева. Конвективный теплообмен осуществляется между корнеобитаемым слоем почвы и подпочвенными грунтами, а также подземными грунтовыми водами. Агент теплообмена здесь почвенный воздух и вода. Вода является активным агентом конвективного теплообмена в рассматриваемой системе. Конденсируясь на поверхности вегетативных органов растений, выделяемое в результате фазового перехода тепло посредством конвективной теплопередачи переходит к растению. При испарении мелкокапельной жидкости или транспирационной влаги с поверхности растений реализуется обратный процесс. Уже в парообразной форме вода участвует в конвективном теплообмене между слоями атмосферы, включая переход «приземный слой атмосферы – атмосфера», может поглощать либо выделять тепло в атмосферу в результате фазовых переходов состояния. Этот процесс реализуется при участии воды не только в виде пара, но и в жидкой форме, например, при выпадении атмосферных осадков. Последнее дает ввести в систему регулятор в форме технологии орошения способом дождевания или аэрозольного распыления. Вода аэрозольного (мелкодисперсного) орошения не только участвует в атмосферных теплообменах (применительно к приземному слою атмосферы), но и является поставщиком мелкокапельной влаги, осаждаемой на вегетативных органах растений, формирующей впоследствии соответствующий вектор теплопередачи. Влага, поступающая в результате работы регулятора, включая все технологии оро-

шения за исключением аэрозольного, участвует в конвективном теплообмене между слоями почвы. Как уже было отмечено, конвективный теплообмен между слоями почвы, поддерживаемый газожидкостными ее формами, реализуется и без участия регулятора, однако только при использовании последнего возможно направленное формирование вектора теплообмена с заданными количественными характеристиками. Введение регуляторов теплообмена обеспечивает:

- регулирование микроклимата посева. Технологии регуляторов, направленные на решение этой задачи, включают аэрозольное орошение (распыление мелкокапельной влаги активизирует процессы теплообмена в приземном слое атмосферы, подключается механизм фазового перехода воды) и орошение способом дождевания;

- регулирование температурного режима растительного покрова. Осуществляется посредством осаждения мелкокапельной влаги на вегетативные органы растений в результате аэрозольного орошения, а также включает технологию противозаморозкового дождевания;

- регулирование температуры почвы с корневой системой растений. Может быть реализовано с использованием всех способов орошения, за исключением аэрозольного. Специальные технологии, направленные на регулирование температуры почвы – это освежительные поливы (регулирование температуры поверхности почвы) и утеплительные поливы. Однако и любое насыщение почвы влагой активизирует теплообменные процессы, а также существенно повышает температурную буферность почвы.

Рассматривая процессы конвективного теплообмена между объектами рассматриваемой системы, мы упоминали два термина. Это собственно конвективный теплообмен и конвективная теплопередача [5]. Эти процессы имеют разные решения. Конвективная теплопередача относится к классическим задачам теплообмена между объектами с твердой оболочкой и газожидкостными формами вещества, решаемой на основе закона Ньютона – Рихмана:

$$q = \alpha(T_w - T_f),$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²; $(T_w - T_f)$ – температурный напор, определяемый разностями опорных температур между твердой и текучей фазами, К; α – коэффициент пропорциональности между температурным напором и плотностью теплового потока, Вт/м²·К.

Откуда величина переноса тепловой энергии от объекта с известной площадью поверхности S определится из выражения:

$$Q_s = \alpha(T_w - T_f)S,$$

где Q_s – передаваемая тепловая энергия, Вт; S – площадь поверхности объекта с твердой оболочкой, м².

Предполагается, что опорные значения температур объектов, для которых считается теплопередача, известны.

Конвективный теплообмен рассматривается как процесс между текучими средами. Для его описания используется система дифференциальных уравнений, включающая:

- уравнение Фурье–Кирхгофа, применяющееся для описания процесса конвективного переноса энергии в жидких и газообразных средах;
- уравнение Навье–Стокса, применительно к трем составляющим вектора скорости движения текучей среды в отдельности;
- уравнение неразрывности.

Решение этих уравнений может быть найдено при четком определении геометрических характеристик расчетного объема, а также расчетного времени процесса, физических характеристик газожидкостных сред, начальных и граничных условий, таких как температура, поле давления и скоростей на начало расчетного периода.

Процессы на основе кондуктивного теплообмена (теплопроводности) всегда сопутствуют конвективному теплообмену, а также в достаточной степени выражены и всегда присутствуют в твердой фазе почвы [7]. Относительно решаемой задачи описания гидротермического режима агрофитоценоза важно учитывать кондуктивный теплообмен между поверхностью и корнеобитаемым слоем почвы, а также между корнеобитаемым слоем почвы и нижележащими горизонтами почвогрунта. Эти процессы определяют прогрев грунта при нагреве поверхности почвы лучистой энергией Солнца или в результате конвективного теплообмена с атмосферой. Конвективный теплообмен с атмосферой определяет и отвод тепла от поверхности почвы с последующим кондуктивным распространением охлаждения в корнеобитаемый слой почвы и нижележащие горизонты. В общем случае кондуктивный теплообмен в твердых телах описывается дифференциальным уравнением Фурье:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad}T),$$

где ρ – плотность объекта, для которого моделируется кондуктивная теплопередача, кг/м³; c – массовая теплоемкость объекта, Дж/(кг·К); t – время процесса, с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $\text{grad}T$ – градиент температурного поля, К/м; div – оператор дивергенции.

Вид уравнений для оператора дивергенции в общем случае определяется принятой системой координат. Для декартовых координат будет справедливо:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \sum_{i=1}^3 \frac{d}{dx_i} (\lambda_i \cdot \frac{dT}{dx_i}),$$

где x_i – проекция расчетного вектора расстояния между изотермическими областями кондуктивного теплопереноса, м.

Данное уравнение характеризует количественные связи между временными и пространственными изменениями температуры твердого тела. Как любое дифференциальное уравнение, оно имеет множество альтернативных решений, и чтобы найти верное, должен быть задан ряд параметров. К таким параметрам относятся геометрические характеристики и физические свойства объекта, время, краевые условия относительно начального распределения температурного поля и условий теплообмена на границе расчетной области.

Регуляторы процессов в предложенной модели, охлаждая или нагревая слои почвы, позволяют инициировать процессы кондуктивного теплообмена в заданном направлении.

Заключение. Предложена модель, которая базируется на использовании совокупности объектов, характеризующих систему агрофитоценоза и окружающую его среду. Объекты выделены по их отношению к процессам теплообмена. Внутреннюю систему агрофитоценоза образуют растительный покров, приземный слой атмосферы в границах объема, занимаемого растительным покровом, поверхность и корнеобитаемый слой почвы. Такие объекты, как почвогрунт, расположенный ниже корнеобитаемого слоя почвы, подземные (грунтовые) воды, атмосфера (за исключением выделенного, приземного слоя) и солнце, являются объектами окружающей среды. Объекты характеризуются параметрами состояния, которые являются результатом обменных процессов и одновременно условиями, определяющими их осуществление.

Процессы теплообмена сгруппированы относительно трех, известных в природе механизмов теплопередачи, которые задействованы в формировании теплового баланса агрофитоценозов. Описаны процессы передачи тепла излучением, конвекцией и теплопроводностью, для каждой из этих групп показан состав процессов теплообмена, так или иначе взаимодействующих с системой агрофитоценоза и оказывающих влияние на ее тепловой баланс. Рассмотрены физика процессов и основные физические модели, решающие задачи теплового и массо-энергетического переноса. В модель интегрирова-

на система регуляторов, позволяющих оказывать направленное воздействие на процессы тепло-массопереноса в системе агрофитоценоза, а также на тепло-массообмен с объектами окружающей среды. Раскрыты возможности использования различных гидро-мелиоративных технологий для регулирования этих процессов.

Библиографический список

1. Бажа С. Н., Гунин П. Д., Концов С. В. Опыт исследования годового гидротермического режима темно-каштановых почв центральной Монголии // Аридные экосистемы. 2012. Т.18. № 1 (50). С. 47-59.
2. Виноградов Ю. Б., Семенова О. М., Виноградова Т. А. Гидрологическое моделирование: метод расчета динамики тепловой энергии в почвенном профиле // Криосфера Земли. 2015. Т.19. № 1. С. 11-21.
3. Динамическая модель раннеспелого картофеля для регулирования гидротермического режима агроценоза в условиях Волгоградской области / А. С. Овчинников, А. А. Бубер, Ю. П. Добрачев, В. В. Бородычев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 65-76.
4. Дудорова Н. В., Белан Б. Д. Радиационный баланс подстилающей поверхности // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 3. С. 223-228.
5. Исследование процесса теплопереноса в ограниченном пространстве / Р. Т. Емельянов, Е. С. Турышева, М. А. Пылаев, М. М. Ходжаева // Вестник КрасГАУ. 2015. № 6 (105). С. 73-78.
6. Макарычев С. В., Гефке И. В. Влияние луковой культуры на гидротермический режим и теплоемкость чернозема выщелоченного в условиях Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 8 (130). С. 66-71.
7. Микайлсон Ф. Д. О влиянии граничных условий при моделировании теплопереноса в почве // Инженерно-физический журнал. 2017. Т. 90. № 1. С. 73-85.
8. Хоменко И. И., Волошина В. В. Влияние различных мульчирующих материалов на изменения температурного режима и микробиологических процессов в почве при выращивании саженцев яблони на вегетативных подвоях // Российский электронный научный журнал. 2014. № 3 (9). С. 68-77.
9. Шеин Е. В., Трошина О. А. Физические свойства почв и моделирование гидротермического режима комплексного почвенного покрова Владимирского Ополья // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1099.
10. Шорина И. В., Гефке И. В. Температурные поля и тепловые потоки в черноземе выщелоченном под бахчевыми культурами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 12 (146). С. 26-31.
11. Adler P. B., Salguero-Gomez R., Compagnoni A. Functional traits explain variation in plant life history strategies // Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America. 2014. Vol.111. N2. P.740-745
12. Duan M. X., Jin M. X. Modeling water and heat transfer in soil-plant-atmosphere continuum applied to maize growth under plastic film mulching // Frontiers of agricultural science and engineering. 2019. Vol. 6. N2. P. 144-161.
13. Meinzer F.C., Smith D. D., Woodruff D. R. Stomatal kinetics and photosynthetic gas exchange along a continuum of isohydric to anisohydric regulation of plant water status // Plant cell and environment. 2017. Vol. 40. N8. P. 1618-1628.
14. Merabtine A., Mokraoui S., Kheiri A. New transient simplified model for radiant heating slab surface temperature and heat transfer rate calculation // Building simulation. 2019. Vol. 12. N3. P. 441-452.
15. Michaletz S.T., Weiser M. D., Zhou J. Plant thermoregulation: energetics, trait-environment interactions, and carbon economics // Trends in ecology & evolution. 2015. Vol. 30. N12. P. 714-724.

Reference

1. Bazha S. N., Gunin P. D., Koncov S. V. Opyt issledovaniya godovogo gidrotermicheskogo rezhima temno-kashtanovyh pochv central'noj Mongolii // Aridnye jekosistemy. 2012. Vol. 18. № 1 (50). P. 47-59.

2. Vinogradov Yu. B., Semenova O. M., Vinogradova T. A. Gidrologicheskoe modelirovanie: metod rascheta dinamiki teplovoj jenerгии v pochvennom profile // Krio-sfera Zemli. 2015. Vol. 19. № 1. P. 11-21.
3. Dinamicheskaya model' rannespelogo kartofelya dlya regulirovaniya gidrotermicheskogo rezhima agrocenoza v usloviyah Volgogradskoj oblasti / A. S. Ovchinnikov, A. A. Buber, Yu. P. Dobrachev, V. V. Borodychev // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 4 (52). P. 65-76.
4. Dudorova N. V., Belan B. D. Radiacionnyj balans podstilayuschej poverhnosti // Optika atmosfery i okeana. 2015. Vol. 28. № 3. P. 223-228.
5. Issledovanie processa teploperenosa v ogranichenom prostranstve / R. T. Emel'yanov, E. S. Turyшева, M. A. Pylaev, M. M. Hodzhaeva // Vestnik KrasGAU. 2015. № 6 (105). P. 73-78.
6. Makarychev S. V., Gefke I. V. Vliyanie lukovoj kul'tury na gidrotermicheskij rezhim i teploemkost' chernozema vyschelochennogo v usloviyah Altajskogo Priob'ya // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 8 (130). P. 66-71.
7. Mikailson F. D. O vliyanii granichnyh uslovij pri modelirovanii teplo-perenosa v pochve // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. 2017. Vol. 90. № 1. P. 73-85.
8. Homenko I. I., Voloshina V. V. Vliyanie razlichnyh mul'chiruyuschih materi-alov na izmeneniya temperaturnogo rezhima i mikrobiologicheskikh processov v pochve pri vyraschivanii sazhencev yabloni na vegetativnyh podvoyah // Rossijskij jelektronnyj nauchnyj zhurnal. 2014. № 3 (9). P. 68-77.
9. Shein E. V., Troshina O. A. Fizicheskie svojstva pochv i modelirovanie gidrotermicheskogo rezhima kompleksnogo pochvennogo pokrova Vladimirskego Opol'ya // Pochvovedenie. 2012. № 10. P. 1099.
10. Shorina I. V., Gefke I. V. Temperaturnye polya i teplovye potoki v chernozeme vyschelochennom pod bahchevymi kul'turami // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 12 (146). P. 26-31.
11. Adler P. B., Salguero-Gomez R., Compagnoni A. Functional traits explain variation in plant life history strategies // Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America. 2014. Vol. 111. N2. P. 740-745.
12. Duan M. X., Jin M. X. Modeling water and heat transfer in soil-plant-atmosphere continuum applied to maize growth under plastic film mulching // Frontiers of agricultural science and engineering. 2019. Vol. 6. N2. P. 144-161.
13. Meinzer F.C., Smith D. D., Woodruff D. R. Stomatal kinetics and photosynthetic gas exchange along a continuum of isohydric to anisohydric regulation of plant water status // Plant cell and environment. 2017. Vol. 40. N8. P. 1618-1628.
14. Merabtine A., Mokraoui S., Kheiri A. New transient simplified model for radiant heating slab surface temperature and heat transfer rate calculation // Building simulation. 2019. Vol. 12. N3. P. 441-452.
15. Michaletz S.T., Weiser M. D., Zhou J. Plant thermoregulation: energetics, trait-environment interactions, and carbon economics // Trends in ecology & evolution. 2015. Vol. 30. N12. P. 714-724.

Информация об авторах

Бородычев Виктор Владимирович, академик РАН, директор Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>. E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Лытов Михаил Николаевич, ведущий научный сотрудник Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), кандидат сельскохозяйственных наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>. E-mail: Lytov@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРУБЧАТЫХ УВЛАЖНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

HYDRAULIC PARAMETERS OF TUBULAR HUMIDIFIERS OF DIFFERENT DESIGNS

А. Д. Ахмедов, доктор технических наук, профессор

A. D. Akhmedov

Волгоградский государственный аграрный университет

Volgograd State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 08.07.2019

Дата принятия к печати 10.11.2019

Received 08.07.2019

Submitted 10.11.2019

В настоящее время особенности применения внутрипочвенного орошения, а также его гидравлический режим работы зависят от множества факторов, таких как напор в голове увлажнителя, время полива, расход воды, уклон местности и т.п. В связи с этим нами при проведении исследования были проанализированы три типа конструкций увлажнителей, определены конструктивные особенности увлажнителей. В зависимости от величины напора приведены размеры и площади контуров увлажнения. Установлено, что применение экрана при оптимальном напоре 0,5-0,6 м позволяет увеличить расстояние до 1,4-1,5 м между увлажнителями и увеличить площадь смоченного контура в 1,3-1,7 раза. При определении качественных и количественных характеристик распределения воды как в продольном, так и в поперечном направлении с применением внутрипочвенного орошения необходимо определить пьезометрический напор. Для обеспечения равномерного распределения влаги по длине увлажнителя по результатам проведенных опытов установлено, что напор в голове увлажнителя равняется 0,5-0,7 м. При этом уклон рельефа местности должен быть в пределах от 0,0014 до 0,007, а длина увлажнителя не может быть более 125 м. Следовательно, анализируя и принимая во внимание полученные данные, мы получили формулу (8), связывающую время от начала полива с удельным расходом и напором в голове увлажнителя. Данная формула до появления установившихся расходов имеет следующую область применения: по времени $T = 10-340$ мин. и по напору $H = 0,1-0,7$ м. Кроме того, изучение закономерностей влияния пьезометрических кривых по длине увлажнителей проводилось путем сравнения полученных опытных данных по показателям пьезометров с теоретическими потерями, вычисленными на основе формул Г. А. Петрова и И. М. Коновалова. Гидравлический расчет по формуле Г.А. Петрова (при $i = 0,012-0,016$) можно считать удовлетворительным при длине увлажнителей в пределах 100-120 м, так как при анализе теоретических и опытных данных изменения линии пьезометрических напоров установлено, что при длине более 120 м происходит их резкий подъем.

Currently, the features of the application of subsoil irrigation, as well as its hydraulic mode of operation, depend on many factors, such as: pressure in the head of the humidifier, watering time, water flow, terrain slope, etc. In this regard, during the study, we analyzed three types of humidifier designs, determined the design features of humidifiers. Depending on the pressure, the sizes and areas of the humidification circuits are given. It has been established that the use of a screen with an optimal pressure of 0,5-0,6 m makes it possible to increase the distance to 1,4-1,5 m between the humidifiers and to increase the area of the wetted circuit by 1,3-1,7 times. In determining the qualitative and quantitative characteristics of the distribution of water, both in the longitudinal and transverse directions using intra-soil irrigation, it is necessary to determine the piezometric pressure. To ensure a uniform distribution of moisture along the length of the humidifier according to the results of the experiments, it was found that the pressure in the head of the humidifier is 0,5-0,7 m. In this case, the slope of the terrain should be in the aisles from 0,0014 to 0,007, and the length of the humidifier cannot be more than 125 m. Therefore, analyzing and taking into account the data obtained, we obtained formula (8), which relates the time from the start of irrigation, the specific consumption and pressure in the head of the humidifier. This formula before the establishment of fixed costs has the following scope: in time $T = 10-340$ min. and pressure $H = 0,1-0,7$ m. In addition, the study of the patterns of influence of piezometric curves along the length of the humidifiers was carried out by comparing the obtained experimental data on the performance of piezometers with theoretical losses calculated

on the basis of G.A. Petrova and I.M. Konovalova. Hydraulic calculation according to the formula G.A. Petrova (at $i = 0,012-0,016$) can be considered satisfactory when the length of the humidifiers is in the range of 100-120 m, since when analyzing the theoretical and experimental data, changes in the line of piezometric heads established that at a length of more than 120 m, their sharp rise.

Ключевые слова: *внутрипочвенное орошение, время полива, контур увлажнения, пьезометрический напор, напор в голове увлажнителя, типы увлажнителя, удельный расход воды.*

Key words: *subsurface irrigation, irrigation time, humidification circuit, piezometric pressure, pressure in the head of the humidifier, type of humidifier, specific water consumption.*

Цитирование. Ахмедов А. Д. Гидравлические параметры трубчатых увлажнителей различных конструкций. *Известия НВ АУК.* 2019. 4(56). 204-215. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-25.

Citation. Akhmedov A. D. Hydraulic parameters of tubular humidifiers of different designs. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 204-215 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-25.

Введение. В настоящее время изучение результатов различных исследований подтверждает, что одним из ресурсосберегающих способов полива является внутрипочвенное орошение. Данный способ полива способствует полной автоматизации процесса полива, управлению, в первую очередь, водным режимом почвы, повышению качественных и количественных показателей урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме этого, внутрипочвенное орошение в значительной степени позволяет экономить водные, материальные, энергетические, трудовые ресурсы, снижает засоренности почв сорняками, количество заболеваемости растений и т.п. [1, 6, 7, 9, 10, 12].

Исследованиями гидравлики внутрипочвенных увлажнителей занимались многие авторы. Уже накоплен достаточно объемный материал теоретических и в особенности экспериментальных разработок. Но единого мнения в вопросах гидравлического расчета увлажнителей все еще нет.

Например, в работах М. С. Григорова приводится сравнение различных конструкций труб-увлажнителей: керамических, гончарных, полиэтиленовых траншей с пористым наполнителем. Сделан вывод, что для подпочвенного орошения наиболее подходящими являются полиэтиленовые трубы, так как они устойчивы к коррозии, достаточно эластичны, устойчивы к резкому изменению температуры. Значительная длина труб (до 250 м) и их гибкость позволяют производить скоростное строительство. Кроме того, получается значительная экономия на транспортных перевозках, т.к. полиэтиленовые трубы в 6-7 раз легче гончарных [4].

В работе В. И. Бобченко приведены результаты исследования различных факторов на послойное распределение воды в почве при внутрипочвенном орошении, а также по определению исходных данных для расчета длины внутрипочвенных увлажнителей.

По вопросу послойного распределения воды в почве указывается, что лучшее увлажнение пахотного горизонта наблюдается в почвах с хорошо выраженными капиллярными свойствами и небольшой водопроницаемостью.

Принцип расчета длины увлажнителей основан на создании при поливе достаточно равномерного распределения напоров по длине.

Такие условия имеют место при соблюдении соотношения:

$$L = \frac{Q_n}{q}, \quad (1)$$

где L – длина увлажнителя, м; Q_n – поливная струя, л/с, при данном уклоне, сечении и шероховатости увлажнителя; q – удельный расход на впитывание в увлажнитель, л/с на 1 м при намечаемом напоре.

Поливная струя рассчитывается по формуле Шези при допущении, что пьезометрический уклон равен геодезическому уклону увлажнителя и расход равномерно отделяется по пути.

Удельный расход на впитывание должен определяться экспериментально для увлажнителей данной конструкции в данных почвенных условиях при типичной предполивной влажности.

Постановка задачи о выборе длины труб-увлажнителей в данном случае возражений не вызывает, однако для практического применения такой метод вряд ли может быть удобен, т.к. экспериментальное определение удельных расходов на впитывание для каждого расчетного случая будет затруднительным и не исключает возможной ошибки. Теоретического или эмпирического решения автор не предлагает. Также неясным остается, каким образом определить величину «поливов струи», чтобы увязать ее с расстоянием между трубами-увлажнителями, а значит, и с требуемыми расходами на впитывание воды в почву.

В исследованиях М. В. Николаева указывается, что расстояние между внутрипочвенными увлажнителями принимается равным 1,0-2,5 м в зависимости от капиллярных свойств механического состава почв, а на среднесуглинистых и супесчаных почвах это расстояние можно принимать 1,25 м. Эти исследования проводились на Московской опытно-исследовательской станции ВНИИГиМ, где в течение ряда лет испытывались различные способы орошения сточными водами. Несмотря на некоторую специфику орошения сточными водами, гидравлический расчет внутрипочвенных труб-увлажнителей остается примерно таким же, как и при орошении чистой водой. За исходную величину для расчета системы внутрипочвенного орошения автор принимает впитывание воды в почву из внутрипочвенных труб-увлажнителей в единицу времени.

Суммируя результаты исследований Крымской опытно-мелиоративной станции, Укргипроводхоза и других, предлагается принимать длину увлажнителей в пределах 100-150 м при диаметре 4-5 см, независимо от конструкции увлажнителя и его уклона.

Далее предлагается следующий ход расчета. Средний геодезический уклон увлажнителя приравнивается к пьезометрическому. Тогда уклон увлажнителя будет:

$$i = \frac{h_w}{l}, \quad (2)$$

где i – уклон увлажнителя; h_w – потери напора по длине увлажнителя; l – длина увлажнителя.

Величина потерь напора по длине увлажнителя вычисляется по формуле Г. А. Петрова:

$$h_w = q^2 \left(\frac{l}{3K^2} - \frac{\alpha_0}{2g\omega^2} \right), \quad (3)$$

где q – расход воды в начале увлажнителя; l – длина увлажнителя; K – модуль расхода; $K = \omega C \sqrt{R}$, α_0 – коэффициент распределения скоростей ($\alpha_0=1,035$); ω – площадь сечения увлажнителя; q – ускорение силы тяжести; C – коэффициент Шези, $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$; n – коэффициент шероховатости; R – гидравлический радиус.

Предлагаемый гидравлический расчет труб-увлажнителей не может удовлетворить проектировщиков систем внутрипочвенного орошения по следующим причинам. Впитывание воды в почву зависит от конструкции труб-увлажнителей, от формы и размеров водовыпускных отверстий от расстояния между последними. Конкретных данных по опре-

делению всех этих параметров не приводится. Кроме того, определение предельных длин труб-увлажнителей должно быть неразрывно связано с равномерностью увлажнения почвы, уклонами увлажнителей, их конструкцией. В то же время автор рекомендует принимать определенную длину увлажнителей на основании своих экспериментальных данных.

Одной из последних вышедших работ является кандидатская диссертация В. И. Канардова, в которой сделана попытка осветить основные стороны расчета трубчатых полиэтиленовых увлажнителей малого диаметра на системах внутрипочвенного орошения сточными водами. Автор правильно поставил задачу расчета основных параметров труб-увлажнителей, хотя некоторые моменты и представляются спорными.

В. И. Канардов предлагает уравнение для вычисления ординат пьезометрической линии в любой точке увлажнителя с учетом геометрического положения его оси и подпора в конце:

$$H_x = \frac{P_x}{\gamma} + \Delta Z_x + \frac{\Delta P_x}{\gamma}, \quad (4)$$

где $\frac{P_x}{\gamma}$ – ордината пьезометрического напора в начальный момент полива, вычисляемая по формулам движения жидкости с переменной массой; $\frac{\Delta P_x}{\gamma}$ – приращение ординат за счет подпора, возникшего в конце увлажнителя; ΔZ_x – разность геометрических высот положения оси увлажнителя.

К сожалению, автор в своей работе не указывает, каким образом можно аналитическим путем подсчитать величины $\frac{P_x}{\gamma}$ и $\frac{\Delta P_x}{\gamma}$, входящие в данную формулу, поэтому неясно, как получилась максимальная длина увлажнителей малого диаметра – 120-130 м. Непонятно также, как был выбран максимальный уклон увлажнителей (0,008).

Теоретически обоснованных зависимостей по этим вопросам в работе нет. В Самгори (Грузия) была проведена работа, в которой в полевых условиях исследовались полиэтиленовые внутрипочвенные увлажнители диаметрами 50, 32, 25, 16, 12 и 8 мм. Трубопроводы закладывались строго горизонтально на глубину 0,5 м при расстояниях между ними в 2,0 м. Водовыпускные отверстия были расположены через 1,0 м по длине увлажнителя.

Основной целью исследований было определение потерь напора по длине увлажнителей. Экспериментально потери напора определялись по обычным пьезометрам. Полученные результаты сравнивались с решениями, полученными из уравнений Г. А. Петрова для пьезометрической линии и потерь напора по длине при движении жидкости с переменным расходом, когда транзитный расход отсутствует:

$$\frac{P_0 - P_x}{\gamma} = \frac{Q_n^2}{k^2} \left(x - \frac{x^2}{e} + \frac{x^3}{3e^2} \right) - \frac{\alpha_0 Q_n^2}{g \omega^2} \left(2 - \frac{x}{e} \right) \frac{x}{e}; \quad (5)$$

$$h_w = \frac{Q_n^2}{k^2} \left(x - \frac{x^2}{e} + \frac{x^3}{3e^2} \right) - \frac{\alpha_0 Q_n^2}{2g \omega^2} \left(2 - \frac{x}{e} \right) \frac{x}{e}, \quad (6)$$

где $\frac{P_0 - P_x}{\gamma}$ – разность пьезометрических давлений в начальном и любом сечении на расстоянии X от начального; K – модуль расхода; h_w – потери по длине; g – ускорение силы тяжести, Q – расход, раздаваемый по пути, равный gl ; α_0 – коэффициент кориолиса; ω – площадь поперечного сечения трубы.

Для определения коэффициента Шези вычислялся коэффициент сопротивления по формуле Ф. А. Шевелева:

$$\lambda = \frac{0,01344}{d_p^{0,226} - v^{0,226}}, \quad (7)$$

где d_p – внутренний диаметр трубопровода; v – скорость течения воды в трубопроводе.

Авторы работы отмечают, что, согласно опытам, в пределах расходов, требующихся для увлажнения почвы, степень неравномерности раздачи удельных расходов существенно зависит от диаметра и длины увлажнителя.

Как видно, в перечисленных работах нет единого мнения по вопросу о выборе длин и уклонов увлажнителей, поэтому нами была предпринята попытка обосновать теоретически решение этой задачи.

В результате полученных полевых данных установлено, что поступление воды в почвенном профиле и ее дальнейшее распределение из внутривпочвенных увлажнителей, в основном определяются величиной пьезометрического напора и конструкцией увлажнителей [2, 3, 5, 8, 11].

Учитывая вышеизложенное, целью наших работ является исследование и выбор гидравлических параметров трубчатых увлажнителей различных конструкций.

Материалы и методы. Почвы опытного участка располагаются на левом берегу р. Ахтубы в северной части Волго-Ахтубинской поймы. Почвами опытного участка являются аллювиальные луговые легкосуглинистые почвы. Содержание гумуса невысокое: в слое 0-0,4 м в среднем составляет 0,86-0,88 %, а наименьшая влагоемкость – 19,27 % массы сухой почвы, опытный участок не засолен: $pH=7,8$.

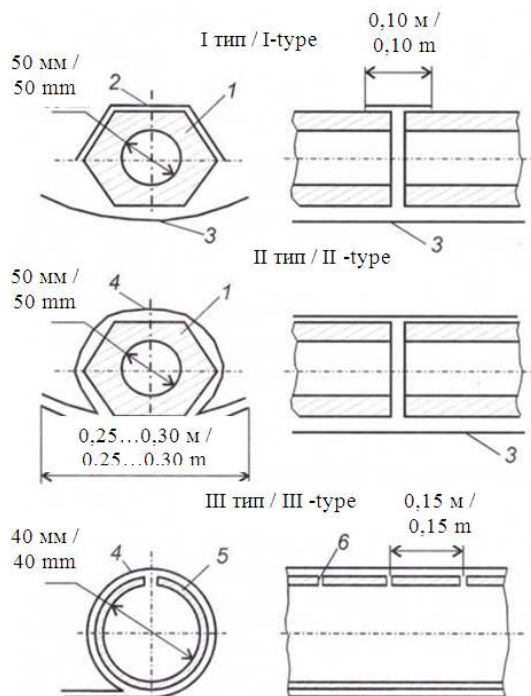


Рисунок 1 – Типы конструкций увлажнителей:

1 – гончарная трубка; 2 – муфта; 3 – противодиффузионный экран;
4 – полиэтиленовый экран; 5 – полиэтиленовая труба; 6 – перфорация

Figure 1 – Types of humidifier designs: 1 – pottery tube; 2 – coupling; 3 – anti-filtration screen;
4 – polyethylene screen; 5 – polyethylene pipe; 6-perforation

В ходе исследований были изучены три типа конструкции увлажнителей (рисунок 1):

1) трубы соединены муфтами шириной 0,1 м, изготовленными из полиэтиленовой пленки;

2) увлажнитель выполнен из гончарных труб с внутренним диаметром 50 мм, длиной 333 мм, стыки их не изолированы, трубы уложены вплотную друг к другу;

3) увлажнитель выполнен из полиэтиленовых труб с внутренним диаметром 40 мм, состоящих из перфорированных (перфорация шаг 0,15 м и отверстий диаметром 1,5 мм) и неперфорированных участков.

В зависимости от гранулометрического состава и фильтрационных свойств почв, а также для обеспечения оптимального режима увлажнения предусмотрена минимальная 0,5 м глубина закладки труб внутрипочвенного орошения. Для устранения заиливания увлажнителей над ними устроен экран из полиэтиленовой пленки шириной 0,20-0,25 м, а для снижения в нижние слои почвы фильтрации поливной воды предусмотрен экран шириной 0,25-0,30 м под увлажнителями. При этом происходит увеличение размеров контура увлажнения, и в связи с этим увеличивается расстояния между увлажнителями на 0,25-0,30 м.

Все увлажнители выполнены длиной 125 м, уклоном 0,002 и на конце были заглушены пробками.

При изучении динамики пьезометрических напоров по длине увлажнителей было установлено семь пьезометров. Первый и последний пьезометр установлен в 2,5 м от головы и концевой части увлажнителя, а остальные через каждые 20 м от головы увлажнителя. Величина пьезометрического напора отмерялась от оси увлажнителя, и по пьезометрам отсчеты брали через каждые 10 мин., а затем – через 30 мин. до появления постоянного расхода [1, 2, 3].

Результаты и обсуждение. Пьезометрический напор при поступлении и распределении влаги в почве является главным фактором. Поэтому при изучении расходов воды в зависимости от напора в голове увлажнителя они поддерживались в пределах от 0,1 до 0,7 м. Опыт проводился на опытно-полевой установке. В течение опыта в первое время идет более интенсивное увеличение контура увлажнения. Этот процесс продолжается до сих пор, пока коэффициент впитывания не достигает постоянной величины. После этого в горизонтальном (вверх) направлении увеличение площади контура увлажнения прекращается. При дальнейшем продолжении полива в основном под действием сил гравитации идет увеличение площади контура увлажнения вертикально вниз.

В таблице 1 в зависимости от величины напора конструктивных особенностей увлажнителей и время наблюдения приведены основные размеры и площади контуров увлажнения.

Анализ полученных данных показывает, что площадь смоченного контура во II типе конструкции увлажнителя в среднем больше на 0,04-0,08 м² и меньше на 0,05-0,13 м² по сравнению с I и III типами конструкции соответственно. Поэтому при равных напорах использование III типа конструкции увлажнителей позволяет увеличить размер контура увлажнения как в горизонтальном направлении ($D_{\text{г}}$), так и вертикальном вверх ($D_{\text{в}}$).

Таким образом, применение экрана при оптимальном напоре 0,5-0,6 м позволяет увеличить расстояние до 1,4-1,5 м между увлажнителями и увеличить площадь смоченного контура в 1,3-1,7 раза.

Анализ полученных данных дает основание утверждать о том, что способы распределения влаги в почву при внутрипочвенном орошении незначительно влияют на форму контура увлажнения, которой этот процесс в наших исследованиях независимо происходил через стыки гончарных трубок и через перфорированную полиэтиленовую трубу.

Таблица 1 – Размеры контуров увлажнения

Table 1 – The sizes of the contours of the moisture

Время наблю- дения time of observation	Н, м H, m	Размеры контура увлажнения, м / Dimensions of the humidification circuit, m		S, м ² / area S, m ²
		Д _в , м / loop dampening in the vertical up (D _v), m	Д _г , м / loop dampening in the hor- izontal directions (D _g), m	
Тип увлажнителя I / Humidifier type I				
1	0,60	0,46	1,31	1,59
2	0,60	0,50	1,44	2,01
1	0,50	0,41	1,00	1,25
2	0,50	0,50	1,39	2,38
1	0,30	0,34	0,94	1,06
2	0,30	0,41	1,11	2,15
1	0,20	0,38	0,91	0,79
2	0,20	0,45	1,03	1,27
Тип увлажнителя II / Type humidifier II				
1	0,60	0,47	1,37	1,63
2	0,60	0,50	1,48	2,09
1	0,50	0,42	1,05	1,29
2	0,50	0,50	1,43	2,41
1	0,30	0,35	0,97	1,12
2	0,30	0,43	1,16	2,19
1	0,20	0,39	0,94	0,84
2	0,20	0,45	1,08	1,33
Тип увлажнителя III / Humidifier type III				
1	0,60	0,49	1,52	1,68
2	0,60	0,52	1,71	2,14
1	0,50	0,44	1,09	1,35
2	0,50	0,50	1,48	2,54
1	0,30	0,36	0,99	1,18
2	0,30	0,47	1,25	2,32
1	0,20	0,40	0,96	0,96
2	0,20	0,49	1,47	1,53

Примечание: 1 – после окончания полива; 2 – через 18 ч /

Note: 1 – after watering; 2 – after 18 hours

Данные наблюдений за динамикой пьезометрических напоров в увлажнителях из гончарной трубы представлены в таблице 2.

В напорном резервуаре (П₀) при проведении исследований отклонение составило не более 0,008 м, а величина пьезометрического напора постоянно поддерживалась на уровне в среднем 0,5 м.

Анализ полученных данных показывает, что в течение 10 мин. проведения полива увлажнитель работает не по всей длине, а через 20 мин. работы увлажнителя зафиксированы появление воды в последнем пьезометре с напором 0,009 м, т.е. в этом створе увлажнитель работал неполным сечением. При этом линии пьезометрических напоров имели средний уклон 0,0053 и 0,0036 соответственно. После 30 мин. работы увлажнителя отмечено появление между 5-м и 7-м пьезометрами обратного уклона величиной 0,0005, т.е. наблюдается некоторый подпор в конце увлажнителя. По истечении через 40 и 60 мин. работы увлажнителя наблюдалось распространение обратного уклона между 6-7-м и 5-7-м пьезометрами величиной до 0,0053 и 0,0029 соответственно.

Далее после 90 мин. отмечен провал линии пьезометрических напоров в 5-м створе с обратными уклонами между 1-5-м и 5-7-м пьезометром соответственно 0,0032 и 0,0044.

Таблица 2 – Распределение пьезометрических напоров
по длине внутрипочвенных увлажнителей из гончарных труб

Table 2 – The distribution of piezometric heads
along the length of in-soil humidifiers from pottery pipes

Время наблюдения от начала полива, мин / Time of observation from the beginning of wa- tering, minutes	Пьезометрический напор на пьезометрах, м / Piezometric head in the piezometer, m							
	П ₀ P ₀	П ₁ P ₁	П ₂ P ₂	П ₃ P ₃	П ₄ P ₄	П ₅ P ₅	П ₆ P ₆	П ₇ P ₇
10	0,507	0,429	0,258	0,088	0,024	0,002	-	-
20	0,501	0,447	0,281	0,162	0,100	0,155	0,026	0,009
30	0,497	0,456	0,229	0,195	0,155	0,110	0,078	0,087
40	0,508	0,467	0,362	0,224	0,183	0,143	0,111	0,216
60	0,500	0,478	0,413	0,282	0,254	0,210	0,108	0,328
90	0,493	0,480	0,428	0,348	0,357	0,337	0,347	0,404
120	0,502	0,479	0,439	0,381	0,392	0,395	0,414	0,423
180	0,499	0,480	0,430	0,389	0,393	0,403	0,411	0,452
240	0,500	0,481	0,434	0,388	0,407	0,401	0,413	0,491
300	0,503	0,481	0,431	0,389	0,406	0,408	0,419	0,502
360	0,499	0,480	0,433	0,389	0,409	0,406	0,418	0,501

В дальнейшем по окончании 120 мин. работы увлажнителя наблюдалась некото-
рая стабилизация пьезометрических напоров. Между 5-м и 7-м пьезометром величина
обратного уклона пьезометрической линии увеличилась до 0,0049.

Полная стабилизация пьезометрических напоров наблюдалась после 240-300
мин. от начала полива с незначительными колебаниями. Следовательно, кривая имела
прогиб в 5-м створе с уклонами 0,0031 (с 1 по 6 пьезометры) и 0,0068 (с 5-го по 7-й пье-
зометры).

Учитывая вышеизложенное, анализируя и обобщая полученные данные, мы вы-
вели общее уравнение, связывающее между собой удельный расход, время от начала
полива и напор в голове увлажнителя:

$$Q = 0,0031H + 4,508 T^{0,967}. \quad (8)$$

Область применения данной зависимости ограничивается появлением устано-
вившихся расходов по времени ($T = 10-340$ мин) и по напору ($H = 0,1-0,7$ м).

Пользуясь уравнением (8), можно за любой промежуток времени при различных
напорах подсчитать подачу оросительной воды, определить расчетный расход воды в
увлажнителе, делать интерполяцию и экстраполяцию.

Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что в основу гидравлического расче-
та увлажнителей положена теория движения жидкости с переменным расходом. Изучение
закономерностей влияния пьезометрических кривых по длине увлажнителей проводились
путем сравнения полученных опытных данных по показателям пьезометров с теоретиче-
скими потерями, вычисленными на основе формул Г. А. Петрова и И. М. Коновалова. В
основные уравнения этих авторов дополнительно были введены разности геодезических
отметок, так как в опытах увлажнители копировали рельеф местности.

Тогда расчетные зависимости можно представлять в следующем виде:

$$H_0 - H_l = \frac{V^2 \lambda l}{2gd} - \frac{\alpha_0 V_{\pi}^2}{g} \left(2 \frac{V_T}{V_{\pi}} + 1 \right) - (Z_0 - Z_l); \quad (9)$$

$$H_0 - H_l = \frac{V^2 \lambda l}{2gd} - \frac{\alpha_0 V_{\pi}^2}{2g} \left(2 \frac{V_T}{V_{\pi}} + 1 \right) - (Z_0 - Z_l), \quad (10)$$

где H_0 и H_l – пьезометрические напоры, м; Z_0 и Z_l – разность геодезических отметок для трубопровода в начальном сечении и на расстоянии l ; V_T , V_{π} – соответственно транзитной, путевой расчетные скорости движения жидкости в трубопроводе, м/с; d – внутренний диаметр увлажнителя, мм; V – средняя по живому сечению скорость течения, м/с; λ – коэффициента сопротивления трения по длине; g – ускорение силы тяжести, м²/с.

При этом расчетные зависимости транзитной, путевой скорости движения жидкости соответственно в трубопроводе можно представлять в виде:

$$V_T = \frac{Q_T}{\omega}; \quad (11)$$

$$V_{\pi} = \frac{Q_{\pi}}{\omega}, \quad (12)$$

где Q_T , Q_{π} – соответственно транзитный, путевой расход воды в трубопроводе, л/с; ω – площадь поперечного сечения увлажнителя, м².

При наличии транзитного расхода расчетную скорость с достаточной степенью точности можно вычислить по формуле:

$$V_p = V_T + 0,55 \cdot V_{\pi}. \quad (13)$$

Движение жидкости в трубопроводах характеризуется числом Рейнольдса. При значениях числа Рейнольдса $Re > 2000$ – 2400 имеем турбулентный режим, в случае $Re < 2000$ – 2400 – ламинарный. В данных условиях имеем турбулентный режим, то есть значение числа Рейнольдса больше, чем 2400 (таблице 3).

Таблица 3 – Определение потерь напора в трубчатом увлажнителе
(тип увлажнителя I)

Table 3 – Determination of pressure losses in a tubular humidifier
(the type of humidifier I)

Показатель indicator	Расстояния от головы увлажнителя, м/номер сечения / Distance from humidifier head, m/section number				
	0 – 20 / I	20 – 40 / II	40 – 60 / III	60 – 80 / VI	80 – 100 / V
$Q_T \cdot 10^{-6}$, м ³ /с m ³ /s	312	249,6	187,2	124,8	62,4
$Q_{\pi} \cdot 10^{-6}$, м ³ /с m ³ /s	62,4	124,8	187,2	249,6	312
$V_T \cdot 10^{-4}$, м/с m/s	1591	1273	955	636	318
$V_{\pi} \cdot 10^{-4}$, м/с m/s	318	636	954	1272	1591
$V_T^2 \cdot 10^{-5}$, м/с m/s	2531	1620	912	404	101
$V_{\pi}^2 \cdot 10^{-5}$, м/с m/s	101	404	912	1620	2531
$V_p \cdot 10^{-4}$, м/с m/s	1766	1623	1479	1335	976
$V_p^2 \cdot 10^{-5}$, м/с m/s	3118	2634	2042	1782	952
Re	8027	7377	6722	6068	4436
$\lambda \cdot 10^{-4}$	405	409	414	419	438
Δh , м	0,025	0,05	0,055	0,06	0,04

Для труб круглого сечения числа Рейнольдса будет равно:

$$Re = \frac{V_p d}{\nu}, \quad (14)$$

где V_p – коэффициент кинематической вязкости жидкости, при $t = 16^\circ\text{C}$, 10^{-6} м²/с.

Зная характер движения жидкости, определив числа Рейнольдса, находим значения коэффициента сопротивления трения по формуле А. Д. Альтшуля (исходя из отношения $10 < Re \frac{K_э}{d} < 500$, увлажнитель работает в переходной зоне):

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (15)$$

где $K_э$ – эквивалентная разнородная абсолютная шероховатость, мм; $K_э=0,5$ среднее значение для гончарных трубок.

Приведем пример гидравлического расчета потерь по длине трубопровода. Для данных условий расходы, подаваемые в увлажнители, равнялись 0,34-0,27 л/спри напоре 0,6-0,3 м.

Имея расход на 1 п.м. определим по формулам путевые и транзитные расходы:

$$Q_п = q \cdot l; \quad (16)$$

$$Q_{тр} = Q_{увл} - Q_п, \quad (17)$$

где $Q_п$ – путевой расход, м³/с; $Q_{тр}$ – транзитный расход, проходящий через сечение, равен разности расходов в голове увлажнителя и путевым расходом, м³/с; $Q_{увл}$ – расход воды в голове увлажнителя, м³/с; q – удельный установившийся расход на 1п.м., м³/с.

Основной расчет по определению потерь напора в увлажнителях проводили по формуле (9) и (10) с учетом того, что вычисленные потери по слагаемым в формулах $\frac{\alpha_0 V_n^2}{g} \left(2 \frac{V_m}{V_n} + 1 \right)$ (9) и $\frac{\alpha_0 V_n^2}{2g} \left(2 \frac{V_t}{V_n} + 1 \right)$ (10) малы, ими пренебрегали исходя из критерия Я. Т. Ненько.

Расчет потерь напора сводился к упрощенной формуле Г.А. Петрова и И.М. Конавалова:

$$H_0 - H_1 = \frac{V_p^2 \lambda l}{2g d}. \quad (18)$$

Гидравлический расчет по формуле Г. А. Петрова (при $i = 0,012-0,016$) можно считать удовлетворительным при длине увлажнителей в пределах 100-120 м, так как при анализе теоретических и опытных данных изменения линии пьезометрических напоров установлено, что при длине более 120 м происходит их резких подъем.

Наблюдение за линией пьезометрических напоров показало, что ее положение во время полива изменяется по мере насыщения почвы влагой и со временем стабилизируется. Время стабилизации постоянной линии пьезометрических напоров зависит от предполивной влажности и происходит с установлением постоянного расхода воды на увлажнитель в почву.

Заключение. На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. После 240-300 мин. от начала полива наблюдается полная стабилизация пьезометрических напоров, с незначительными колебаниями. Следовательно, эта кривая имела прогиб в 5-м створе с уклонами 0,0031 (с 1-го по 6-й пьезометры) и 0,0068 (с 5-го по 7-й пьезометры).

2. На основании экспериментальных данных нами выведено общее уравнение, связывающее между собой удельный расход, время от начала полива и напор в голове увлажнителя (формула 8). Область применения полученных зависимостей до появления установившихся расходов ограничивается по времени ($T=10-340$ мин.) и по напору ($H=0,1-0,7$ м).

Библиографический список

1. Ахмедов А. Д., Боровой Е. П. Научно-экспериментальное обоснование техники и технологии внутрипочвенного орошения кормовых культур в условиях Юга России: монография. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2014. 336 с.

2. Ахмедов А. Д. Метод определения основных параметров системы внутрисочвенного орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2(50). С. 275-283.
3. Бородин В. В., Лытов М. Н. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 1. С. 8-11.
4. Григоров М. С., Ахмедов А. Д., Григоров С. М. Техника и технология внутрисочвенного орошения при возделывании кормовых культур // Lucraristiintife. Universitattea Agrarade Statdin Moldova. Cyisinau, 2013. С. 16-21.
5. Майер А. В., Бочарников В. С., Долгополова Е. А. Разработка технических средств и метод определения интервала времени между увлажнением в системе комбинированного орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1. С. 150-155.
6. Новиков А. Е., Ламскова М. И. Исследование потерь напора и равномерности расхода жидкостей в капельных трубопроводах // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 2. С. 203-209.
7. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Мещеряков М. П. Методика расчёта и обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта // Природообустройство. 2012. № 4. С. 29-32.
8. Овчинников А. С., Бочарников В. С. Экспериментальные исследования гидравлических характеристик оросительных систем // Проблемы развития АПК региона. 2012. № 3(11). С. 92-96.
9. Оптимизация распределения водных ресурсов для различных уровней технической схемы Райгородской ОС / Васильев С. М. и др. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – Электрон. журн. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. № 4(16). 12 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=292&id=297>.
10. Lamm F. R., Puig-Bargués J. Simple equations to estimate flushline diameter for subsurface drip irrigation systems // Trans. ASABE. 2017. Vol. 60(1). P. 185-192.
11. Lamm F. R., Rogers D. H. Longevity and performance of a subsurface drip irrigation system // Trans ASABE. 2017. Vol. 60(3). P. 931-939.
12. Subsurface drip irrigation: Status of the technology in 2010 / Lamm F. R., Bordovsky J. P., Schwankl L. J., Grabow G. L., Enciso-Medina J., Peters R. T., Colaizzi P. D., Trooien T. P., Porter D. O. // Trans. ASABE. 2012. Vol. 55(2). P. 483-491.

Reference

1. Ahmedov A. D., Borovoj E. P. Nauchno-jeksperimental'noe obosnovanie tehniki i tehnologii vnutripochvennogo orosheniya kormovyh kul'tur v usloviyah Yuga Rossii: monografiya. Volgograd: Volgogradskij GAU, 2014. 336 p.
2. Ahmedov A. D. Metod opredeleniya osnovnyh parametrov sistemy vnutripochvennogo orosheniya // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 2(50). P. 275-283.
3. Borodychev V. V., Lytov M. N. Algoritm resheniya zadach upravleniya vodnym rezhimom pochvy pri oroshenii sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2015. № 1. P. 8-11.
4. Grigorov M. S., Ahmedov A. D., Grigorov S. M. Tehnika i tehnologiya vnutripochvennogo orosheniya pri vozdeleyvanii kormovyh kul'tur // Lucraristiintife. Universitattea Agrarade Statdin Moldova. Cyisinau, 2013. P. 16-21.
5. Majer A. V., Bocharnikov V. S., Dolgopolova E. A. Razrabotka tehniceskikh sredstv i metod opredeleniya intervala vremeni mezhdu uvlazhneniyami v sisteme kombinirovannogo orosheniya // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2012. № 1. P. 150-155.
6. Novikov A. E., Lamskova M. I. Issledovanie poter' napora i ravnomernosti rasxoda zhidkostej v kapel'nyh truboprovodah // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2014. № 2. P. 203-209.
7. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Mescheryakov M. P. Metodika raschjota i obosnovanie parametrov kontura uvlazhneniya v usloviyah otkrytogo i zakrytogo grunta // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 4. P. 29-32.

8. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S. }ksperimental'nye issledovaniya gidravlicheskih harakteristik orositel'nyh sistem// Problemy razvitiya APK regiona. 2012. № 3(11). P. 92-96.

9. Optimizaciya raspredeleniya vodnyh resursov dlya razlichnyh urovnej tehnicheckoj sxemy Rajgorodskoj OS / Vasil'ev S. M. i dr. // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. - Jel-ektron. zhurn. Novocherkassk: RosNIIPM, 2014. № 4(16). 12 p. - Rezhim dostupa: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=292&id=297>.

10. Lamm F. R., Puig-Bargués J. Simple equations to estimate flushline diameter for subsurface drip irrigation systems // Trans. ASABE. 2017. Vol. 60(1). P. 185-192.

11. Lamm F. R., Rogers D. H. Longevity and performance of a subsurface drip irrigation system // Trans ASABE. 2017. Vol. 60(3). P. 931-939.

12. Subsurface drip irrigation: Status of the technology in 2010 / Lamm F. R., Bordovsky J. P., Schwankl L. J., Grabow G. L., Enciso-Medina J., Peters R. T., Colaizzi P. D., Trooien T. P., Porter D. O. // Trans. ASABE. 2012. Vol. 55(2). P. 483-491.

Информация об авторе

Ахмедов Аскар Джангир оглы, профессор ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), доктор технических наук, профессор, askar-5@mail.ru

УДК: 579.62:636.4

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-26

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПАТОГЕННЫХ МАРКЕРОВ СВИНОГО БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

STUDY OF THE DISTRIBUTION OF THE PROBABILITY DENSITY OF PATHOGENIC MARKERS OF LIQUID PIG MANURE

Н. В. Бышов¹, доктор технических наук, профессор

Н. В. Лимаренко², кандидат технических наук

И. А. Успенский¹, доктор технических наук, профессор

С. Д. Фомин³, доктор технических наук, профессор

М. Н. Чаткин⁴, доктор технических наук, профессор

И. А. Юхин¹, доктор технических наук, доцент

N. V. Byshov¹, N. V. Limarenko², I. A. Uspensky¹, S. D. Fomin³,

M. N. Chatkin⁴, I. A. Yukhin¹

¹ФГБОУ ВО Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет

³ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет

⁴ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev»

²Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Don State Technical University»

³Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Volgograd State Agrarian University»

⁴Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev»

Дата поступления в редакцию 17.07.2019
Received 17.07.2019

Дата принятия к печати 15.10.2020
Submitted 15.10.2020

Наиболее перспективным способом содержания животных с технологической и экологической точек зрения является бесподстилочное, отходами которого является бесподстилочный навоз. Концентрация биогенных веществ в свином бесподстилочном навозе составляет для общего азота $N_{общ} = 4...6$ кг/м³, для аммиачного, аммонийного, органического азота $NH_4 = 3...6$ кг/м³,

для фосфорного ангидрида $P_2O_5 = 3...6 \text{ кг/м}^3$, для оксида калия $K_2O = 2...4 \text{ кг/м}^3$, что делает приоритетным направлением для его утилизации орошение сельскохозяйственных полей с кормовыми культурами. Однако, несмотря на высокое содержание биогенных веществ, в нём присутствует большое количество патогенных микроорганизмов, без подавления которых невозможна экологически безопасная утилизация. К сожалению, в данный момент отсутствуют способы обеззараживания, эффективные с энергетической и экологической точек зрения, а также отсутствуют математические зависимости, позволяющие прогнозировать поведение патогенных микроорганизмов в зависимости от режимов обеззараживания. Соответственно, задача определения распределения плотности вероятностей патогенных организмов является актуальной. Объектом исследования являются индикаторы патогенности бесподстилочного свиного навоза. Предметом – определение распределения плотности вероятностей патогенных маркеров. В качестве перспективного способа обеззараживания выбрано комплексное физико-химическое воздействие рабочих тел, перемещающихся во вращающемся переменном электромагнитном поле совместно с химическим реагентом. Устройством реализации являлся активатор. Формирование репрезентативной выборки для каждого из патогенных маркеров осуществлялось путём проведения экспериментального исследования и воздействия выбранным способом обеззараживания на бесподстилочный навоз. В качестве технологического материала исследования использовался бесподстилочный навоз малого фермерского хозяйства. Оценка эффективности воздействия производилась методом прямого посева обработанного материала на питательную среду Эндо, с последующим оксидазным тестом и подсчётом выросших на питательном агаре колониеобразующих единиц. Определение плотности вероятностей осуществлялось путём проверки гипотезы о нормальном законе распределения. Получены репрезентативные выборки для каждого из патогенных биоиндикаторов, выполнена проверка гипотезы о нормальном законе распределения для каждого из параметров при соответствующем уровне значимости. Подтверждена гипотеза о нормальном законе распределения плотности вероятностей патогенных маркеров бесподстилочного навоза: для КОЕ ОКБ составила 4,46, для КОЕ БОЕ составила 7,73, для КОЕ ТТКФ составила 2,61, для КОЕ ФКСТК составила 5,99 при критическом значении 15,51.

From the technological and environmental points of view, the most promising way of keeping animals is bedless, the waste of which is liquid manure. The concentration of nutrients in pig manure is for total nitrogen $NH = 4...6 \text{ kg / m}^3$, for ammonia, ammonium, organic nitrogen $NH_4 = 3...6 \text{ kg / m}^3$, for phosphorus anhydride $P_2O_5 = 3...6 \text{ kg / m}^3$, for potassium oxide $K_2O = 2...4 \text{ kg / m}^3$, which makes irrigation of agricultural fields with forage crops a priority for its utilization. However, despite the high content of nutrients, it contains a large number of pathogenic microorganisms, without the suppression of which it is impossible to dispose environmentally safe. Unfortunately, at the moment there are no methods of disinfection effective from the energy and environmental points of view, there are also no mathematical dependencies that allow predicting the behavior of pathogenic microorganisms depending on the modes of disinfection. Accordingly, the problem of determining the probability density distribution of pathogenic organisms is relevant. The objects of research are indicators of pathogenicity of liquid swine manure. The object is to determine the probability density distribution of pathogenic markers. As a promising method of disinfection, a complex physical and chemical action of working bodies moving in a rotating alternating electromagnetic field together with a chemical reagent is selected. The implementation device was an activator. The formation of a representative sample for each of the pathogenic markers was carried out by conducting an experimental study and exposure to the selected method of disinfection on liquid manure. As a technological research material liquid manure from small farms was used. Evaluation of the effectiveness of the impact was carried out by direct seeding of the treated material on the nutrient medium of Endo, followed by oxidase test and counting of colony-forming units grown on the nutrient agar. Determination of probability density was carried out by testing the hypothesis of the normal distribution law. Representative samples were obtained for each of the pathogenic bioindicators, the hypothesis of the normal distribution law for each of the parameters was tested at the appropriate level of significance. The hypothesis about the normal distribution law of probability density of pathogenic markers of liquid manure is confirmed: for CFU OKB made 4,46, for CFU BOE made 7,73, for CFU TTKF made 2,61, for CFU FKSTK made 5,99 at critical value of 15,51.

Ключевые слова: свиной навоз, бесподстилочный свиной навоз, утилизация свиного навоза, обеззараживание свиного навоза, патогенная составляющая свиного навоза, определение распределения плотности вероятностей патогенных маркеров, закон распределения патогенных маркеров.

Key words: liquid pig manure, utilization, disinfection, pathogenic component, determination of distribution of density of probabilities of pathogenic markers, the law of distribution of pathogenic markers.

Цитирование. Бышов Н.В., Лимаренко Н.В., Фомин С.Д., Чаткин М.Н., Успенский И.А., Юхин И.А. Исследование распределения плотности вероятностей патогенных маркеров свиного бесподстилочного навоза. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 215-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-26.

Citation. Byshov N.V., Limarenko N.V., Fomin S.D., Chatkin M.N., Uspensky I.A., Yukhin I.A. Study of the distribution of the probability density of pathogenic markers of liquid pig manure. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 215-227 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-26.

Введение. Рост производственных мощностей отечественных животноводческих предприятий в рамках доктрины продовольственной безопасности РФ приводит к образованию большого числа отходов. Наибольшую опасность с санитарно-эпидемиологической точки зрения представляет свиной навоз [3, 8, 9, 14-16, 18, 21]. На сегодняшний день наиболее перспективным способом содержания животных с технологической и экологической точек зрения является бесподстилочное содержание, отходами которого является бесподстилочный навоз [2, 5, 12, 17, 19-21]. Концентрация биогенных веществ в свином бесподстилочном навозе составляет для общего азота $N_{общ} = 4...6 \text{ кг/м}^3$, для аммиачного, аммонийного, органического азота $NH_4 = 3...6 \text{ кг/м}^3$, для фосфорного ангидрида $P_2O_5 = 3...6 \text{ кг/м}^3$, для оксида калия $K_2O = 2...4 \text{ кг/м}^3$, что делает приоритетным направлением для его дальнейшей утилизации использование в качестве жидкого удобрения, например, при орошении сельскохозяйственных полей с кормовыми культурами. Однако, несмотря на высокое содержание биогенных веществ, в нём присутствует большое количество патогенных микроорганизмов, без подавления которых невозможна экологически безопасная утилизация. К сожалению, в данный момент отсутствуют способы обеззараживания, эффективные с энергетической и экологической точек зрения. Также отсутствуют статистические данные, характеризующие надёжность предлагаемых воздействий [1, 2, 4, 10, 11]. Оценить надёжность того или иного способа воздействия можно с помощью статистических методов оценки плотности вероятности распределения контролируемого параметра. Соответственно, задача определения распределения плотности вероятностей патогенных микроорганизмов, являющихся маркерами эпидемиологического состояния при утилизации, является актуальной.

Целью данного исследования является проверка гипотезы о нормальном законе распределения патогенных маркеров свиного бесподстилочного навоза.

Материалы и методы. Объектом исследования являются индикаторы патогенности бесподстилочного свиного навоза. Предметом – определение распределения плотности вероятностей патогенных маркеров. Согласно МУ 2.1.5.800-99, ГОСТ Р 53117-2008, а также результатов предварительных исследований [6-8, 13], в качестве наиболее информативных патогенных маркеров было принято число колониеобразующих единиц (КОЕ) общих колиформных бактерий (ОКБ), число КОЕ бляшкообразующих единиц (БОЕ), число КОЕ термотолерантных колиформных бактерий (ТТКБ), число КОЕ фекальных стрептококков (ФКСТК).

В качестве перспективного способа обеззараживания выбрано комплексное физико-химическое воздействие рабочих тел, перемещающихся во вращающемся переменном электромагнитном поле совместно с химическим реагентом, более подробно данный способ описан в работах [6, 7, 13]. Устройством реализации являлся активатор.

Формирование репрезентативной выборки для каждого из патогенных маркеров осуществлялось путём проведения экспериментального исследования и воздействия выбранным способом обеззараживания на свиной бесподстилочный навоз. Оптимальные параметры воздействия были определены в ходе решения оптимизационной задачи и экспериментальной оценки их достоверности. В ходе экспериментального исследования активатор обеззараживания осуществлял воздействие следующими параметрами:

- заполненность рабочей зоны $\rho_{zn} = 5,18 \%$;
- отношение длины рабочих тел к диаметру $l/d = 25,00$;
- уровень магнитной индукции $B = 40,00$ мТл;
- концентрация активного хлора $\omega = 15,60$ мг/л;
- продолжительность воздействия $t = 2,81$ с.

В качестве технологического материала исследования использовался бесподстилочный навоз малого фермерского хозяйства численностью порядка 2 000 голов. Общий вид стойл животных и навозохранилища представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пример бесподстилочного содержания свиней на животноводческом комплексе малой производственной мощности

Figure 1 – Example of bedless keeping of pigs in the livestock complex of small production capacity

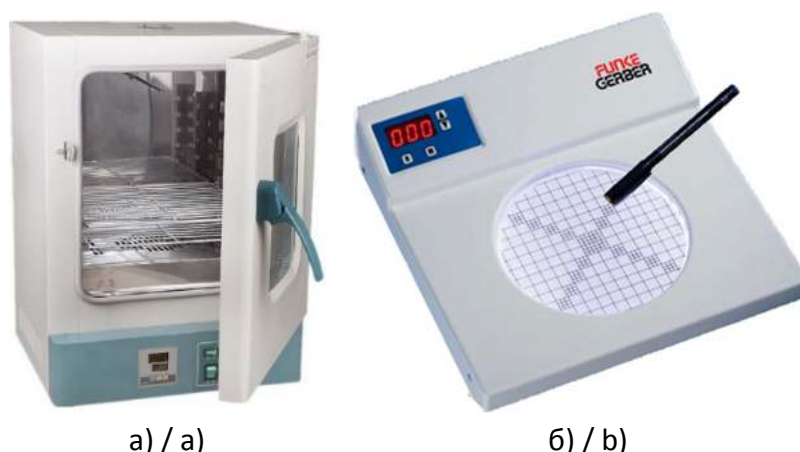
После забора бесподстилочного навоза из навозохранилища осуществлялась оценка эффективности воздействия активатором методом прямого посева обработанного материала на питательную среду Эндо, согласно МУК 4.2.1018-01 и ГОСТ 30712-2001, с последующим оксидазным тестом и подсчётом выросших на питательном агаре колониеобразующих единиц. На рисунке 2 представлено лабораторное оборудование, используемое при проведении анализа.

Определение плотности вероятностей осуществлялось путём проверки гипотезы о нормальном законе распределения по ГОСТ Р ИСО 22514-6-2014, ГОСТ Р 50779.29-2017 (ИСО 16269-6:2014) и ГОСТ 20522-2012.

Проверка гипотезы о нормальном законе распределения осуществлялась на основании анализа априорной информации и эмпирических данных о плотности вероятности значений числа КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК, функция плотности распределения которых представляется зависимостью:

$$f(p) = \frac{1}{S_p \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(p - \mu_p)^2}{2S_p^2}}, \quad (1)$$

где S_p – среднеквадратичное отклонение случайной величины p ; μ_p – оценка математического ожидания случайной величины p .



а) / а)

б) / б)

Рисунок 2 – Оборудование, используемое в ходе посева бесподстилочного навоза на питательную среду Эндо:

а) Термостат электрический Faithful WGLL-30BE; б) Счётчик колониеобразующих единиц Funke-Gerber ColonyStar

Figure 2 – The equipment used in the course of sowing liquid manure on the nutrient medium Endo:

а) Thermostat electric Faithful WGLL-30BE; б) Counter of colony-forming units Funke-Gerber ColonyStar

Интегральная функция плотности распределения которых представляется зависимостью:

$$F(p) = \int_{-\infty}^x f(p)dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (2)$$

Область принятия гипотезы определялась исходя из неравенства:

$$\chi_p^2 \leq \chi_{кр}^2, \quad (3)$$

где χ_p^2 – расчётное значение критерия Пирсона; $\chi_{кр}^2$ – критическое значение критерия Пирсона.

Расчётное значение критерия Пирсона можно определить исходя из зависимости

$$\chi_p^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i} \quad (4)$$

Число степеней свободы для критического значения критерия Пирсона

$$f_{\Pi} = k_u - r - 1, \quad (5)$$

где k_u – количество интервалов, на которые делится выборка; r – количество параметров теоретической функции распределения.

Так как закон нормального распределения является двухпараметрическим, т.е. включает среднеквадратичное отклонение случайной величины p и оценку её математического ожидания, то количество параметров теоретической функции распределения $r = 2$.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных экспериментов были получены выборки значений КОЕ ОКБ $p_{кое окб 1}, p_{кое окб 2}, \dots, p_{кое окб 100}$, КОЕ БОЕ $p_{кое бое 1}, p_{кое бое 2}, \dots, p_{кое бое 100}$, КОЕ ТТКБ $p_{кое тткб 1}, p_{кое тткб 2}, \dots, p_{кое тткб 100}$, КОЕ ФКСТК $p_{кое фкстк 1}, p_{кое фкстк 2}, \dots, p_{кое фкстк 100}$, включающие 100 наблюдений для каждой категории патогенных маркеров. Аналитически данные о полученных выборках можно представить следующим образом:

$$p_n = \begin{cases} 1 \leq p_{\text{кое окб}} \leq 100; \\ 1 \leq p_{\text{кое бое}} \leq 100; \\ 1 \leq p_{\text{кое тткб}} \leq 100; \\ 1 \leq p_{\text{кое фкстк}} \leq 100. \end{cases} \quad (6)$$

На рисунке 3 представлены результаты посева на питательную среду Эндо, обработанного в активаторе бесподстилочного свиного навоза и проведённого последующего оксидазного теста для числа КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТКТ.

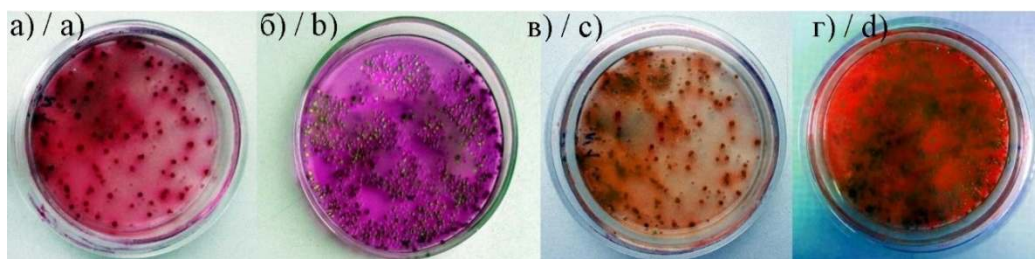


Рисунок 3 – Число КОЕ, выросших на питательном агаре после воздействия в активаторе: а) ОКБ; б) БОЕ; в) ТТКБ; г) ФКСТКТ

Figure 3 – The number of CFU grown on the nutrient agar after exposure to activator: a) CCB; b) PFU; c) TTCB; d) FSTC

В таблице 1 представлены соответствующие статистические характеристики бесподстилочного навоза свиноводческого хозяйства после воздействия в активаторе, в таблице 2 приведено их соответствие критерию согласия Пирсона, где p_{cui}^{cu} – середина интервала; m_i – теоретические частоты; m'_i – эмпирические частоты.

Таблица 1 – Статистические характеристики патогенных маркеров бесподстилочного навоза свиноводческого хозяйства после воздействия в активаторе

Table 1 – Statistical characteristics of pathogenic markers in liquid manure from pig farms after exposure in the activator

№ инт-ла	Число КОЕ ОКБ / The number of CFU CCB				Число КОЕ БОЕ / The number of CFU PFU				Число КОЕ ТТКБ / The number of CFU TTCB				Число КОЕ ФКСТК / The number of CFU FSTC			
	Интервал / Interval	p_{cui}^{cu}	Частота / Frequency		Интервал / Interval	p_{cui}^{cu}	Частота / Frequency		Интервал / Interval	p_{cui}^{cu}	Частота / Frequency		Интервал / Interval	p_{cui}^{cu}	Частота / Frequency	
			m_i	m'_i			m_i	m'_i			m_i	m'_i			m_i	m'_i
1	68...69	68,571	6	4	60...61	60,500	4	3	77...78	77,571	6	4	2...3	2,500	9	3
2	69...70	69,714	15	11	62...63	61,500	17	8	78...79	78,714	13	11	3...4	3,500	12	8
3	70...71	70,857	17	20	63...64	62,500	20	17	79...80	79,857	19	20	4...5	4,500	16	15
4	71...72	72,000	22	25	65...66	63,500	24	24	81...82	81,000	22	25	5...6	5,500	22	21
5	72...73	73,143	18	21	66...67	64,500	18	23	83...84	82,143	21	20	6...7	6,500	19	21
6	73...74	74,286	14	12	67...68	65,500	12	15	84...85	83,286	11	12	7...8	7,500	12	16
7	75...76	75,429	8	5	68...69	66,500	5	7	85...86	84,429	8	5	8...9	8,500	10	9
Сумма / Amount		100	97,162		Сумма / Amount		100	96,723	Сумма / Amount		100	97,186	Сумма / Amount		100	93,611

Таблица 2 – Соответствие статистических характеристик патогенных маркеров бесподстильного навоза свиноводческого хозяйства после воздействия в активаторе критерию согласия Пирсона

Table 2 – Compliance of statistical characteristics of pathogenic markers of liquid pig manure after exposure to activator with Pearson's consent criterion

№ инт-ла / № int.	Частость случайной величины / Random variable frequency				Проверка соответствию критерию согла- сия Пирсона / Verification of compliance with Pearson's consent criterion			
	Число КОЕ ОКБ / Number CFU CCB	Число КОЕ БОЕ / Number CFU PFU	Число КОЕ ТТКБ / Number CFU TTCB	Число КОЕ ФКСТК / Number CFU FSTC	Число КОЕ ОКБ / Number CFU CCB	Число КОЕ БОЕ / Number CFU PFU	Число КОЕ ТТКБ / Number CFU TTCB	Число КОЕ ФКСТК / Number CFU FSTC
1	0,857	0,571	0,857	1,286	0,58	0,36	0,46	3,39
2	2,143	2,429	1,857	1,714	1,08	4,37	0,21	1,03
3	2,429	2,857	2,714	2,286	0,48	0,41	0,08	0,02
4	3,143	3,429	3,143	3,143	0,30	0,00	0,31	0,06
5	2,571	2,571	3,000	2,714	0,44	1,32	0,01	0,20
6	2,000	1,714	1,571	1,714	0,27	0,72	0,04	1,14
7	1,143	0,714	1,143	1,429	1,31	0,56	1,51	0,16
$\chi_{\text{расчётное}} / \chi_{\text{calculated}}$					4,46	7,73	2,61	5,99
$\chi_{\text{критическое}} / \chi_{\text{critical}}$					15,51			

Исходя из закономерности (3) в таблице 3 представлены соотношения расчётных и критических значений критерия Пирсона для патогенных маркеров свиного бесподстильного навоза.

Таблица 3 – Расчётные и критические значения критерия согласия Пирсона патогенных маркеров свиного бесподстильного навоза

Table 3 – Calculated and critical values of Pearson's consent criterion of pathogenic markers of liquid pig manure

Расчётные значения критерия Пирсона патогенных маркеров χ_p^2 / Calculated values of the Pearson crite- rion of pathogenic markers χ_p^2		Критические значения критерия Пирсона патогенных маркеров χ_k^2 / Critical values of the Pearson criterion of pathogenic ers χ_k^2	
Число КОЕ ОКБ $\chi_{\text{р КОЕ ОКБ}}^2$ / Number CFU CCB $\chi_{\text{р CFU CCB}}^2$	4,47	< 15,51	
Число КОЕ БОЕ $\chi_{\text{р КОЕ БОЕ}}^2$ / Number CFU PFU $\chi_{\text{р CFU PFU}}^2$	7,73		
Число КОЕ ТТКФ $\chi_{\text{р КОЕ ТТКФ}}^2$ / Number CFU TTCB $\chi_{\text{р CFU TTCB}}^2$	2,61		
Число КОЕ ФКСТК $\chi_{\text{р КОЕ ФКСТК}}^2$ / Number CFU FSTC $\chi_{\text{р CFU FSTC}}^2$	5,99		

Как видно из таблиц 1, 2, 3, условие неравенства (3) выполняется для всех четырёх индикаторов. Используя (1) и (2), на рисунках 4...7 представим зависимость плотности вероятности в дифференциальной и интегральной форме для каждого из патогенных маркеров, где эмпирическая составляющая выборки представлена гистограммой, а теоретическая аппроксимирующей кривой.

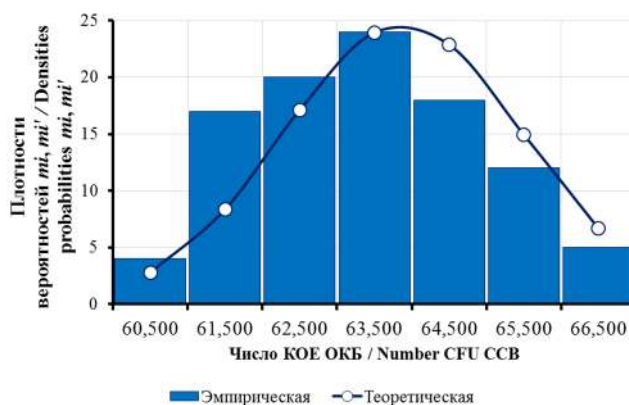


Рисунок 4 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ ОКБ после воздействия в активаторе

Figure 4 – Differential and integral dependence of the frequency distribution of the CFU CCB number after exposure in the activator

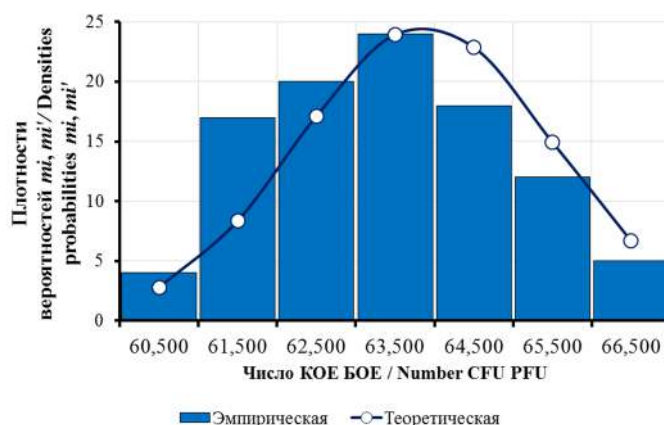


Рисунок 5 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ БОЕ после воздействия в активаторе

Figure 5 – Differential and integral dependence of the frequency distribution of the number of CFU PFU after exposure in the activator

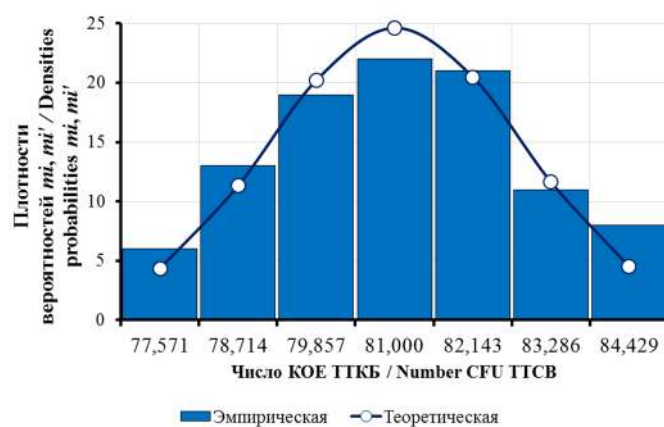


Рисунок 6 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ ТТКБ после воздействия в активаторе

Figure 6 – Differential and integral dependence of the frequency distribution CFU TTCB number after exposure in the activator

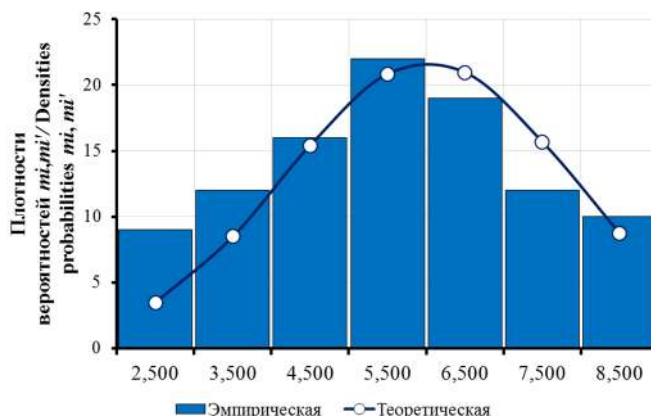


Рисунок 7 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ ФКСТК после воздействия в активаторе

Figure 7 – Differential and integral dependence of the distribution of frequencies among CFU FSTC after exposure to activator

На рисунке 8 представлено соотношение концентраций патогенных маркеров до и после воздействия в активаторе.

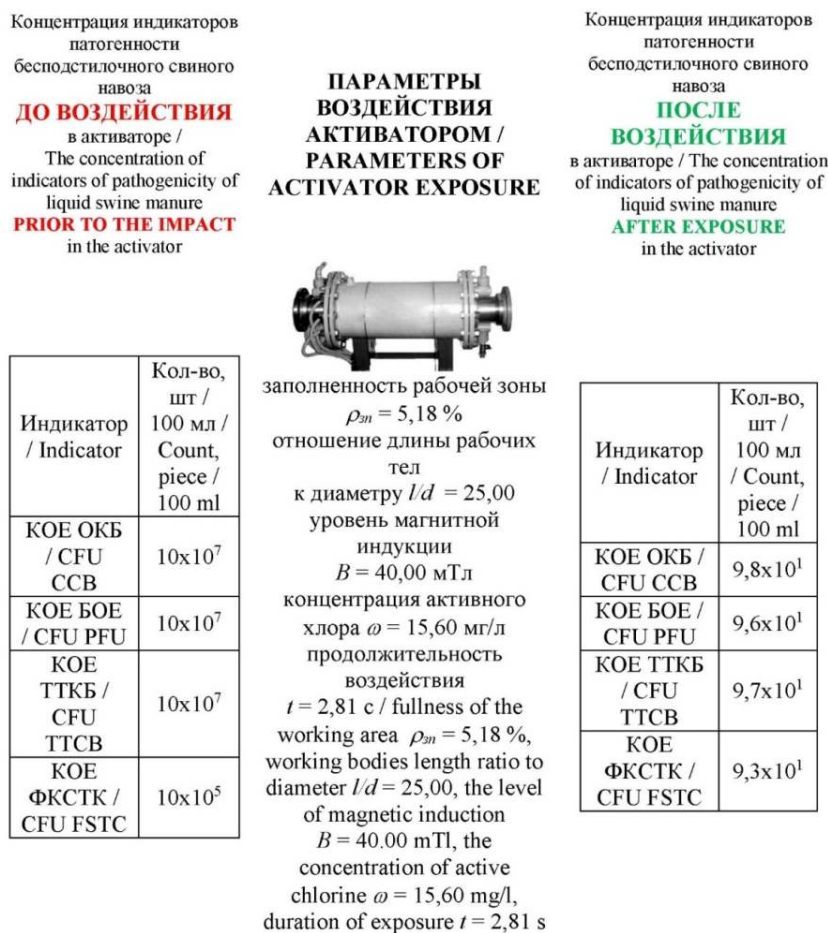


Рисунок 8 – Блок-схема эффективности воздействия активатором на индикаторы патогенности

Figure 8 – Block diagram of the activator effectiveness on indicators of pathogenicity

Заключение. При исследовании закона распределения плотности вероятности значений параметров, характеризующих качество процесса обеззараживания, было принято следующее критическое значение критерия Пирсона $\chi^2_{кр} = 15,51$. Так как во всех рассматриваемых случаях расчётные значения критерия Пирсона меньше критических, при уровне значимости $\alpha = 0,05$, то гипотезы о нормальном законе распределения плотности вероятности значений чисел колониеобразующих единиц патогенных биомаркеров после воздействия в активаторе принимались. Убедившись в нормальном законе распределения плотностей вероятностей значений параметров, характеризующих надёжность эпидемиологического состояния бесподстилочного навоза после воздействия в активаторе обеззараживания, можно переходить к созданию статистических математических моделей, представляющих исходные данные для решения оптимизационных задач экологизации процесса утилизации данного вида отходов.

Библиографический список

1. Александровская Л. Н., Кириллин А. В., Кербер О. Б. Выбор ряда критериев проверки отклонения распределения вероятностей от нормального закона в практике инженерного статистического анализа // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2017. № 1. С. 42-52.
2. Анисимова Г. Д., Евсеева С. И. Определение теоретического закона распределения случайной выборки // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов. Наука и образование. 2018. № 8 (111). С. 14. DOI: 10.12731/ofernio.2018.23732.
3. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения // Региональная экология. 2017. № 1 (47). С. 37-43.
4. Гришин К. А. Аппроксимация композиции плоскостей законом распределения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 9-1. С. 67-70.
5. Кравченко М. Е., Тарасов С. И., Бужина Т. А. Эффективность длительного применения бесподстилочного навоза в агроценозах с бессменным возделыванием костреца безостого // Плодородие. 2016. № 6 (93). С. 54-55.
6. Лимаренко Н. В., Жаров В. П. Определение закона распределения плотности вероятностей числа колониеобразующих единиц в технологическом процессе обеззараживания стоков животноводческих ферм // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2017. Т.17, № 2. С. 136-140. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-2-136-140.
7. Лимаренко Н. В. Определение закона распределения плотности вероятностей удельной электрической энергоёмкости при обеззараживании стоков агропромышленного комплекса // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2017. № 2-3, (356-357). С. 118-120.
8. Морозов Н. М., Цой Л. М., Рассказов А. Н. Передовые технологии в свиноводстве России // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 2 (31). С. 19-28.
9. Павлов П. И. Эффективные средства механизации для удаления и утилизации навоза // Естественные и технические науки. 2017. № 3 (105). С. 87-89.
10. Построение законов распределения случайных величин при моделировании информационных систем / Ю. В. Минин, О. Г. Иванова, Е. А. Байбаков, Х. Л. Маджет // Моделирование систем и процессов. 2018. Т. 11. № 2. С. 37-44. DOI: 10.12737/article_5b57794da92980.07304947.
11. Салихова А. М., Волкова А. А. Анализ практического применения экспоненциального закона распределения в теории надежности технических систем // Научный обозреватель. 2016. № 7. С. 44-46.
12. Современные технологии уборки и переработки жидкого навоза / Х. Х. Губейдуллин, В. Г. Артемьев, И. И. Шигапов, О. П. Гришин, С. А. Бормотин // Сельский механизатор. 2018. № 6. С. 30-31.
13. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства / Б. Ч. Месхи, Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров, Б. Г. Шаповал // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2017. Т.18, № 4. С. 129-135. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135.

14. Тарасов С. И., Мёрзлая Г. Е. Использование бесподстилочного навоза. Приоритетные направления исследований сообщение 2. Производство бесподстилочного навоза. Актуальные направления исследований // Плодородие. 2018. № 6 (105). С. 53-56. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.17.

15. Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Методический подход к определению потерь питательных веществ при переработке навоза/помета в органическое удобрение // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3 (13). С. 267-270.

16. Шигапов И. И. Модель биотехнической системы процесса уборки, транспортировки и переработки навоза // Аграрная наука. 2017. № 3. С. 27-31.

17. Шигапов И. И. Ресурсосберегающие технологии уборки жидкого навоза // Сельский механизатор. 2017. № 4. С. 26-27.

18. Эффективность применения жидкой фракции бесподстилочного свиного навоза под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве / Н. В. Гоман, И. А. Бобренко, Н. К. Трубина, И. О. Шалак // Вестник КрасГАУ. 2018. № 5 (140). С. 51-59.

19. Dong S., Lu J., Plewa M. J. Comparative Mammalian Cell Cytotoxicity of Wastewaters for Agricultural Reuse after Ozonation // Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50 (21). PP. 11752-11759. DOI: 10.1021/acs.est.8b01675

20. Method of designing of manure utilization technology / A. Briukhanov, I. Subbotin, R. Uvarov, E. Vasilev // Agronomy Research. 2017. Vol. 15. № 3. P. 658-663.

21. The Composite Material from the Recycled Raw Materials in the Purification of oily Wastewater Technology / E. V. Moskvicheva, A. V. Moskvicheva, E. P. Doskina, P. A. Sidyakin, D. V. Shchitov, E. Y. Lykova, L. N. Fesenko // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 736. P. 187-190. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.187

Reference

1. Aleksandrovskaya L. N., Kirillin A. V., Kerber O. B. Vybory ryada kriteriev proverki otkloneniya raspredeleniya veroyatnostej ot normal'nogo zakona v praktike inzhenernogo statisticheskogo analiza // Trudy FGUP "NPCAP". Sistemy i pribory upravleniya. 2017. № 1. P. 42-52.

2. Anisimova G. D., Evseeva S. I. Opredelenie teoreticheskogo zakona raspredeleniya sluchajnoj vyborki // Hroniki ob'edinennogo fonda jlektronnyh resursov. Nauka i obrazovanie. 2018. № 8 (111). P. 14. DOI: 10.12731/ofernio.2018.23732.

3. Bryuhanov A. Yu., Vasil'ev Je. V., Shalavina E. V. Problemy obespecheniya jkologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodstva i nailuchshie dostupnye metody ih resheniya // Regional'naya jkologiya. 2017. № 1 (47). P. 37-43.

4. Grishin K. A. Approksimaciya kompozicii ploskostej zakonom raspredeleniya // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2017. № 9-1. P. 67-70.

5. Kravchenko M. E., Tarasov S. I., Buzhina T. A. Jefferktivnost' dlitel'nogo primeneniya bespodstilochnogo navoza v agrocenozah s bessmennym vozdeyviem kostreca bezostogo // Plodородие. 2016. № 6 (93). P. 54-55.

6. Limarenko N. V., Zharov V. P. Opredelenie zakona raspredeleniya plotnosti veroyatnostej chisla kolonieobrazuyuschih edinic v tehnologicheskom processe obezzarazhivaniya stokov zhivotnovodcheskih ferm // Vestnik Don. gos. tehn. un-ta. 2017. Vol.17, № 2 . P. 136-140. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-2-136-140.

7. Limarenko N. V. Opredelenie zakona raspredeleniya plotnosti veroyatnostej udel'noj jektricheskoy jenergojnostej pri obezzarazhivanii stokov agropromyshlennogo kompleksa// Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaya tehnologiya. 2017. № 2-3, (356-357). P. 118-120.

8. Morozov N. M., Coj L. M., Rasskazov A. N. Peredovye tehnologii v svinovodstve Rossii // Vestnik VIJeSX. 2018. № 2 (31). P. 19-28.

9. Pavlov P. I. Jefferktivnye sredstva mehanizacii dlya udaleniya i utilizacii navoza // Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2017. № 3 (105). P. 87-89.

10. Postroenie zakonov raspredeleniya sluchajnyh velichin pri modelirovanii informacionnyh sistem / Yu. V. Minin, O. G. Ivanova, E. A. Bajbakov, H. L. Madzhet // Modelirovanie sistem i processov. 2018. Vol. 11. № 2. P. 37-44. DOI: 10.12737/article_5b57794da92980.07304947.

11. Salihova A. M., Volkova A. A. Analiz prakticheskogo primeneniya jeksponencial'nogo zakona raspredeleniya v teorii nadezhnosti tehniceskikh sistem // Nauchnyj obozrevatel'. 2016. № 7. P. 44-46.
12. Sovremennye tehnologii uborki i pererabotki zhidkogo navoza / H. H. Gubejdullin, V. G. Artem'ev, I. I. Shigapov, O. P. Grishin, S. A. Bormotin // Sel'skij mehanizator. 2018. № 6. P. 30-31.
13. Sozdanie matematicheskoy modeli dlya ocenki jnergojnostki processa obezzarazhivaniya stokov zhivotnovodstva / B. Ch. Mesxi, N. V. Limarenko, V. P. Zharov, B. G. Shapoval // Vestnik Don. gos. tehn. un-ta. 2017. Vol.18, № 4. P. 129-135. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135.
14. Tarasov S. I., Mjorzlaya G. E. Ispolzovanie bespodstilochnogo navoza. Prioritetnye napravleniya issledovanij soobschenie 2. Proizvodstvo bespodstilochnogo navoza. Aktual'nye napravleniya issledovanij // Plodorodie. 2018. № 6 (105). P. 53-56. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.17.
15. Shalavina E. V., Vasil'ev Je. V. Metodicheskij podhod k opredeleniyu poter' pitatel'nyh veschestv pri pererabotke navoza/pometa v organicheskoe udobrenie // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2015. № 3 (13). P. 267-270.
16. Shigapov I. I. Model' biotehnicheskoy sistemy processa uborki, transportirovki i pererabotki navoza // Agrarnaya nauka. 2017. № 3. P. 27-31.
17. Shigapov I. I. Resursosberegayushchie tehnologii uborki zhidkogo navoza // Sel'skij mehanizator. 2017. № 4. P. 26-27.
18. Jeffektivnost' primeneniya zhidkoj frakcii bespodstilochnogo svinogo navoza pod yarovuyu pshenicu na lugovo-chernozemnoj pochve / N. V. Goman, I. A. Bobrenko, N. K. Trubina, I. O. Shalak // Vestnik KrasGAU. 2018. № 5 (140). P. 51-59.
19. Dong S., Lu J., Plewa M. J. Comparative Mammalian Cell Cytotoxicity of Wastewaters for Agricultural Reuse after Ozonation // Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50 (21). P. 11752-11759. DOI: 10.1021/acs.est.8b01675
20. Method of designing of manure utilization technology / A. Briukhanov, I. Subbotin, R. Uvarov, E. Vasilev // Agronomy Research. 2017. Vol. 15. № 3. P. 658-663.
21. The Composite Material from the Recycled Raw Materials in the Purification of oily Wastewater Technology / E. V. Moskvicheva, A. V. Moskvicheva, E. P. Doskina, P. A. Sidyakin, D. V. Shchitov, E. Y. Lykova, L. N. Fesenko // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 736. P. 187-190. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.187

Информация об авторах

Бышов Николай Владимирович, профессор кафедры «Техническая эксплуатация транспорта» Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4619-6446> E-mail: byshov@rgatu.ru

Лимаренко Николай Владимирович, старший преподаватель кафедры электротехника и электроника федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской государственной технической университет (344000, ЮФО, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3075-2572> E-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, профессор кафедры «Механика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), доктор технических наук, доцент. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284> E-mail: fsd_58@mail.ru

Чаткин Михаил Николаевич, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва (430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3758-7066> E-mail: chatkinm@yandex.ru

Успенский Иван Алексеевич, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4343-0444> E-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, заведующий кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, доцент.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3822-0928> E-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 539.3:631.3

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-27

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТАХ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

APPLICATION OF VOLUME FINAL ELEMENTS IN STRENGTH CALCULATIONS OF ENGINEERING OBJECTS OF AGRICULTURAL COMPLEX

Ю. В. Клочков¹, доктор технических наук, профессор

А. П. Николаев¹, доктор технических наук, профессор

С. Д. Фомин¹, доктор технических наук, доцент

О. В. Вахнина¹, кандидат технических наук, доцент

М. Ю. Клочков², студент

Yu. V. Klochkov¹, A. P. Nikolaev¹, S. D. Fomin¹, O. V. Vakhnina¹, M. Yu. Klochkov²

¹Волгоградский государственный аграрный университет

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd

²Lomonosov Moscow State University, Moscow

Дата поступления в редакцию 17.09.2019

Дата принятия к печати 02.12.2019

Received 17.09.2019

Submitted 02.12.2019

В работе в криволинейной системе координат представлены алгоритмы формирования матриц жесткостей конечных элементов двух конфигураций для расчета конструкций инженерных объектов АПК. Первым объемным элементом принята призматическая фигура с основанием в виде треугольника, поверхность которого параллельна отсчетной поверхности оболочки, а высота призмы ориентирована по нормали к отсчетной поверхности оболочки. Узловыми неизвестными приняты перемещения и их первые производные по координатам отсчетной поверхности и по координате, нормальной к ней. Для аппроксимации перемещений использованы функции формы, элементами которых были произведения полных полиномов третьей степени. Во второй конфигурации рассмотрен объемный конечный элемент в виде призматической фигуры с четырехугольным основанием, параллельным отсчетной поверхности оболочки. В качестве узловых неизвестных также приняты перемещения и их первые производные по криволинейным координатам отсчетной поверхности и по координате в направлении нормали к ней. Для аппроксимации перемещений использованы функции формы, элементами которых были триадные произведения полиномов Эрмита третьей степени. Для улучшения совместности призматических конечных элементов по производным нормальных компонент векторов перемещений использованы множители Лагранжа в серединах оснований, которые введены как дополнительные узловые неизвестные. Для получения матриц жесткости рассматриваемого призматического элемента использован модифицированный функционал потенциальной энергии, зависящий от основных неизвестных и множителей Лагранжа. На примере расчета участка напорного трубопровода показана эффективность разработанных конечных элементов.

In the work in a curvilinear coordinate system, algorithms for the formation of stiffness matrices of finite elements of two configurations for calculating the structures of engineering objects of the agricultural sector are presented. The first volume element is a prismatic figure with a base in the form of a triangle, the

surface of which is parallel to the reference surface of the shell, and the height of the prism is oriented normal to the reference surface of the shell. Nodal unknowns accepted displacements and their first derivatives with respect to the coordinates of the reference surface and the coordinate normal to it. To approximate the displacements, form functions were used, the elements of which were products of complete polynomials of the third degree. In the second configuration, a volumetric finite element in the form of a prismatic figure with a quadrangular base parallel to the reference surface of the shell is considered. Displacements and their first derivatives with respect to the curvilinear coordinates of the reference surface and along the coordinate in the direction normal to it are also taken as nodal unknowns. To approximate the displacements, form functions were used, the elements of which were the triad products of Hermite polynomials of the third degree. To improve the compatibility of prismatic finite elements with respect to the derivatives of the normal components of the displacement vectors, Lagrange multipliers in the midpoints of the bases, which were introduced as additional nodal unknowns, were used. To obtain the stiffness matrices of the prismatic element under consideration, a modified potential energy functional was used, depending on the main unknowns and Lagrange multipliers. On the example of calculating the pressure pipeline section, the efficiency of the developed finite elements is shown.

Ключевые слова: призматические конечные элементы, модифицированный функционал Лагранжа, корректирующие множители Лагранжа.

Key words: prismatic finite elements, modified Lagrange functional, Lagrange correction factors.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-41-340005 р_а

Цитирование. Ключков Ю. В., Николаев А. П., Фомин С. Д., Вахнина О. В., Ключков М. Ю.. Применение объемных конечных элементов в прочностных расчетах инженерных объектов агропромышленного комплекса. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 227-237. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-27.

Citation. Klochkov Yu. V., Nikolaev A. P., Fomin S. D., Vakhnina O. V., Klochkov M. Yu. Application of volume final elements in strength calculations of engineering objects of agricultural complex. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 227-237 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-27.

Введение. В настоящее время аграрное производство является одним из приоритетных направлений развития экономики России. Курс на интенсификацию сельскохозяйственного производства требует увеличения объемов строительства новых объектов агропромышленного комплекса (АПК) и реконструкции уже существующих. В этой связи достаточно актуальной становится задача анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) сложных систем и объектов АПК, таких как зернохранилища, силосные бункеры, напорные и безнапорные трубопроводы, резервуары, строительные конструкции ферм, элеваторов и прочее. В настоящее время для расчетов прочности, устойчивости, долговечности систем и объектов АПК используют, в основном, численные методы расчета, основанные на современных компьютерных технологиях [4-9, 12, 13, 17, 21, 22]. Наиболее распространенным из численных методов на данный момент является метод конечных элементов (МКЭ) [1-3, 10, 11, 14, 18-20, 23, 25]. Несмотря на широкий спектр имеющихся вычислительных конечно-элементных комплексов, таких как ЛИРА, NASTRAN, ANSYS, ABAQUS и других, актуальной задачей остается разработка и совершенствование конечно-элементных алгоритмов по определению прочностных параметров НДС систем и объектов АПК.

Материалы и методы. В работе применяется численный метод – МКЭ с использованием современной вычислительной техники. На примере расчета напорного трубопровода излагаются алгоритмы формирования матриц жесткостей объемных конечных элементов и сравнительный анализ их эффективности при сопоставлении с результатами, полученными на основе использования двумерных элементов дискретизации.

Геометрические и физические соотношения. Подразумевается, что отсчетная поверхность конструкции АПК задается радиус-вектором:

$$\vec{R}^0 = x(\alpha_1, \alpha_2) \vec{i} + y(\alpha_1, \alpha_2) \vec{j} + z(\alpha_1, \alpha_2) \vec{k}, \quad (1)$$

где α_1, α_2 – криволинейные координаты, x, y, z – декартовы координаты, i, j, k – орты декартовой системы координат.

Ковариантные векторы базиса и орт нормали в точке N^0 отсчетной поверхности конструкции АПК определяются по формулам:

$$\vec{a}_1^0 = \vec{R}_{,\alpha_1}^0; \quad \vec{a}_2^0 = \vec{R}_{,\alpha_2}^0; \quad \vec{a}^0 = \vec{a}_1^0 \times \vec{a}_2^0 / \sqrt{a^0}, \quad (2)$$

где запятая обозначает операцию дифференцирования по соответствующей криволинейной координате α_1, α_2 ; $a^0 = (\vec{a}_1^0 \cdot \vec{a}_1^0)(\vec{a}_1^0 \cdot \vec{a}_2^0) - (\vec{a}_2^0 \cdot \vec{a}_2^0)^2$ – детерминант метрического тензора, отнесенного к отсчетной поверхности.

Радиус-вектор точки N^{0t} , отстоящей от отсчетной поверхности на расстоянии t , в исходном состоянии может быть задан формулой:

$$\vec{R}^{0t} = \vec{R}^0 + \vec{a}^0 t. \quad (3)$$

В результате нагружения конструкции точка N^{0t} займет новое положение N^t , которое будет характеризоваться радиус-вектором:

$$\vec{R}^t = \vec{R}^{0t} + \vec{V}. \quad (4)$$

Входящий в (4) вектор перемещения точки N^{0t} и его производные могут быть определены компонентами в локальном базисе точки отсчетной поверхности N^0 :

$$\begin{aligned} \vec{V} &= v^1 \vec{a}_1^0 + v^2 \vec{a}_2^0 + v \vec{a}^0; & \vec{V}_{,\alpha_1} &= m_1^1 \vec{a}_1^0 + m_1^2 \vec{a}_2^0 + m_1 \vec{a}^0; \\ \vec{V}_{,\alpha_2} &= m_2^1 \vec{a}_1^0 + m_2^2 \vec{a}_2^0 + m_2 \vec{a}^0; & \vec{V}_{,t} &= m_t^1 \vec{a}_1^0 + m_t^2 \vec{a}_2^0 + m_t \vec{a}^0. \end{aligned} \quad (5)$$

Векторы базиса точек N^{0t} и N^t могут быть получены дифференцированием (3) и (4) по α_1, α_2 и t :

$$\vec{g}_1^0 = \vec{R}_{,\alpha_1}^{0t}; \quad \vec{g}_2^0 = \vec{R}_{,\alpha_2}^{0t}; \quad \vec{g}_3^0 = \vec{R}_{,t}^{0t} = \vec{a}^0; \quad \vec{g}_1 = \vec{R}_{,\alpha_1}^t; \quad \vec{g}_2 = \vec{R}_{,\alpha_2}^t; \quad \vec{g}_3 = \vec{R}_{,t}^t. \quad (6)$$

Ковариантные компоненты метрического тензора в точках N^{0t} и N^t могут быть определены скалярными произведениями:

$$g_{\rho\gamma}^0 = \vec{g}_\rho^0 \cdot \vec{g}_\gamma^0; \quad g_{\rho\gamma} = \vec{g}_\rho \cdot \vec{g}_\gamma. \quad (7)$$

где нижние индексы ρ, γ последовательно принимают значения α_1, α_2 и t .

Используя известное соотношение механики сплошной среды [23], с учетом (7) можно получить ковариантные компоненты тензора деформаций в точке N^{0t} :

$$\varepsilon_{\rho\gamma} = (\mathbf{g}_{\rho\gamma} - \mathbf{g}_{\rho\gamma}^0) / 2. \quad (8)$$

Соотношения (8) могут быть представлены в виде матричного произведения:

$$\{\varepsilon_{\rho\gamma}\}_{6 \times 1} = [\mathbf{D}]_{6 \times 3} \{\mathbf{U}\}_{3 \times 1}, \quad (9)$$

где $\{\varepsilon_{\rho\gamma}\}_{1 \times 6}^T = \{\varepsilon_{\alpha_1 \alpha_1} \ 2\varepsilon_{\alpha_1 \alpha_2} \ 2\varepsilon_{\alpha_1 t} \ \varepsilon_{\alpha_2 \alpha_2} \ 2\varepsilon_{\alpha_2 t} \ \varepsilon_{tt}\}$ $\{U\}_{1 \times 3}^T = \{v^1 \ v^2 \ v\}$ $[D]$ – матрица алгебраических и дифференциальных операторов.

Предполагая, что деформирование инженерной конструкции ограничивается упругой стадией работы материала, контравариантные компоненты тензора напряжений могут быть выражены через ковариантные компоненты тензора деформаций следующими зависимостями (Седов Л. И., 1976):

$$\sigma^{\rho\gamma} = \lambda I_1(\varepsilon) g^{\rho\gamma} + 2\mu g^{\rho\beta} g^{\gamma\delta} \varepsilon_{\beta\delta}, \quad (10)$$

где $I_1(\varepsilon) = g^{\rho\gamma} \varepsilon_{\rho\gamma}$ – первый инвариант тензора деформаций; $g^{\rho\gamma}$ – контравариантные компоненты метрического тензора; λ, μ – параметры Ляме (Седов Л. И., 1976).

Физические соотношения (10) также могут быть представлены в матричной форме:

$$\{\sigma^{\rho\gamma}\}_{6 \times 1} = [C]_{6 \times 6} \{\varepsilon_{\rho\gamma}\}_{6 \times 1} \quad (11)$$

где $\{\sigma^{\rho\gamma}\}_{1 \times 6}^T = \{\sigma^{\alpha_1 \alpha_1} \ \sigma^{\alpha_1 \alpha_2} \ \sigma^{\alpha_1 t} \ \sigma^{\alpha_2 \alpha_2} \ \sigma^{\alpha_2 t} \ \sigma^{tt}\}$; $[C]_{6 \times 6}$ – матрица упругости.

Объемные конечные элементы. Предполагается, что инженерная конструкция АПК моделируется совокупностью объемных конечных элементов в виде призматических элементов с треугольным и четырехугольным основаниями. Искомые неизвестными в узлах призматических конечных элементов выступают компоненты вектора перемещения точки N^{0t} , а также их частные производные первого порядка.

Столбцы узловых неизвестных призматических конечных элементов в локальной ξ, η, ζ и глобальной α_1, α_2, t системах координат выбираются в следующем виде:

$$\{U_{\Delta}^{\Delta}\}_{1 \times 72}^T = \left\{ \{v_{\Delta}^{1\Delta}\}_{1 \times 24}^T \ \{v_{\Delta}^{2\Delta}\}_{1 \times 24}^T \ \{v_{\Delta}^{\Delta}\}_{1 \times 24}^T \right\}; \quad (12)$$

$$\{U_{\diamond}^{\Delta}\}_{1 \times 96}^T = \left\{ \{v_{\diamond}^{1\Delta}\}_{1 \times 32}^T \ \{v_{\diamond}^{2\Delta}\}_{1 \times 32}^T \ \{v_{\diamond}^{\Delta}\}_{1 \times 32}^T \right\}; \quad (13)$$

$$\{U_{\Delta}^{\Gamma}\}_{1 \times 72}^T = \left\{ \{v_{\Delta}^{1\Gamma}\}_{1 \times 24}^T \ \{v_{\Delta}^{2\Gamma}\}_{1 \times 24}^T \ \{v_{\Delta}^{\Gamma}\}_{1 \times 24}^T \right\}; \quad (14)$$

$$\{U_{\diamond}^{\Gamma}\}_{1 \times 96}^T = \left\{ \{v_{\diamond}^{1\Gamma}\}_{1 \times 32}^T \ \{v_{\diamond}^{2\Gamma}\}_{1 \times 32}^T \ \{v_{\diamond}^{\Gamma}\}_{1 \times 32}^T \right\}; \quad (15)$$

где нижние индексы Δ и $\diamond$ указывают на призматический конечный элемент с треугольным или четырехугольным основанием соответственно.

Входящие в (12) - (15) подматрицы-строки имеют следующую структуру:

$$\begin{aligned} \{q_{\Delta}^{\Delta}\}_{1 \times 24}^T &= \{q^i q^j q^k q^l q^m q^n q_{,\xi}^i \dots q_{,\xi}^n q_{,\eta}^i \dots q_{,\eta}^n q_{,\zeta}^i \dots q_{,\zeta}^n\} \\ \{q_{\Delta}^{\Gamma}\}_{1 \times 24}^T &= \{q^i q^j q^k q^l q^m q^n q_{,\alpha_1}^i \dots q_{,\alpha_1}^n q_{,\alpha_2}^i \dots q_{,\alpha_2}^n q_{,t}^i \dots q_{,t}^n\} \\ \{q_{\diamond}^{\Delta}\}_{1 \times 32}^T &= \{q^i q^j q^k q^l q^m q^n q^p q^h q_{,\xi}^i \dots q_{,\xi}^h q_{,\eta}^i \dots q_{,\eta}^h q_{,\zeta}^i \dots q_{,\zeta}^h\} \\ \{q_{\diamond}^{\Gamma}\}_{1 \times 32}^T &= \{q^i q^j q^k q^l q^m q^n q^p q^h q_{,\alpha_1}^i \dots q_{,\alpha_1}^h q_{,\alpha_2}^i \dots q_{,\alpha_2}^h q_{,t}^i \dots q_{,t}^h\} \end{aligned} \quad (16)$$

где верхние индексы i, j, k, l, m, n и i, j, k, l, m, n, p, h указывают на узлы, расположенные в вершинах призматического конечного элемента с треугольным и четырехугольным основаниями соответственно, а под q понимается компонента вектора перемещения v^1, v^2 или v .

Компонента вектора перемещения точки, расположенной во внутренней области призматических конечных элементов, определяется через свои узловые значения с помощью интерполяционных выражений следующего вида:

$$q_{\Delta} = \{\varphi\}^T \{q_{\Delta}^T\}^T; \quad q_{\diamond} = \{\psi\}^T \{q_{\diamond}^T\}^T, \quad (17)$$

$1 \times 24 \quad 24 \times 1 \qquad 1 \times 32 \quad 32 \times 1$

где $\{\varphi\}^T = \{\varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_{24}\}$ – матрица-строка, состоящая из произведений полных полиномов третьей степени и полиномов Эрмита третьей степени; $\{\psi\}^T = \{\psi_1 \psi_2 \dots \psi_{32}\}$ – матрица-строка, содержащая триадные произведения полиномов Эрмита третьей степени.

Производные компонент вектора перемещения точки внутренней области призматического элемента по глобальным криволинейным координатам определяются дифференцированием (17) по α_1, α_2 и t , например:

$$q_{\Delta, \alpha_1} = \left(\{\varphi_{,\xi}\}^T \cdot \xi_{,\alpha_1} + \{\varphi_{,\eta}\}^T \cdot \eta_{,\alpha_1} + \{\varphi_{,\varsigma}\}^T \cdot \varsigma_{,\alpha_1} \right) \{q_{\Delta}^T\}^T$$

$$q_{\diamond, t} = \left(\{\psi_{,\xi}\}^T \cdot \xi_{,t} + \{\psi_{,\eta}\}^T \cdot \eta_{,t} + \{\psi_{,\varsigma}\}^T \cdot \varsigma_{,t} \right) \{q_{\diamond}^T\}^T \quad (18)$$

Результаты и обсуждение. Для улучшения совместности призматического конечного элемента по производным нормальных компонент векторов перемещений вдоль внешних нормалей в серединах сторон оснований используются множители Лагранжа, которые рассматриваются как дополнительные узловые неизвестные [16].

Для призматического конечного элемента с треугольным основанием могут быть записаны следующие равенства:

$$\lambda_1 \left(\partial v / \partial \vec{N}_1 \right) + \lambda_2 \left(\partial v / \partial \vec{N}_2 \right) + \lambda_3 \left(\partial v / \partial \vec{N}_3 \right) = 0;$$

$$\lambda_4 \left(\partial v / \partial \vec{N}_4 \right) + \lambda_5 \left(\partial v / \partial \vec{N}_5 \right) + \lambda_6 \left(\partial v / \partial \vec{N}_6 \right) = 0, \quad (19)$$

где первое равенство (19) относится к нижнему, а второе равенство – к верхнему основаниям; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_6$ – множители Лагранжа в узлах, расположенных в серединах оснований; $\vec{N}_1, \vec{N}_2, \dots, \vec{N}_6$ – векторы внешних нормалей в серединах сторон оснований (рисунок 1).

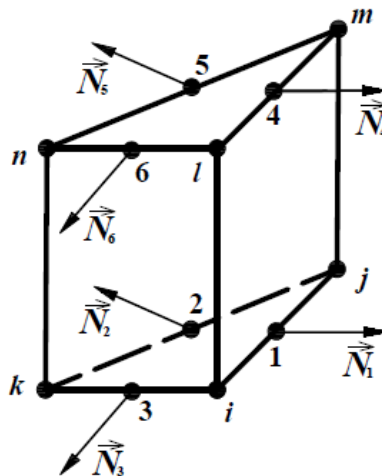


Рисунок 1 – Призматический элемент с треугольным основанием

Figure 1 – Prismatic element with triangular base

Равенство (19) для призматического конечного элемента с четырехугольным основанием (рисунок 2) записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned}\lambda_1 \left(\partial v / \partial \vec{N}_1 \right) + \lambda_2 \left(\partial v / \partial \vec{N}_2 \right) + \lambda_3 \left(\partial v / \partial \vec{N}_3 \right) + \lambda_4 \left(\partial v / \partial \vec{N}_4 \right) &= 0; \\ \lambda_5 \left(\partial v / \partial \vec{N}_5 \right) + \lambda_6 \left(\partial v / \partial \vec{N}_6 \right) + \lambda_7 \left(\partial v / \partial \vec{N}_7 \right) + \lambda_8 \left(\partial v / \partial \vec{N}_8 \right) &= 0.\end{aligned}\quad (20)$$

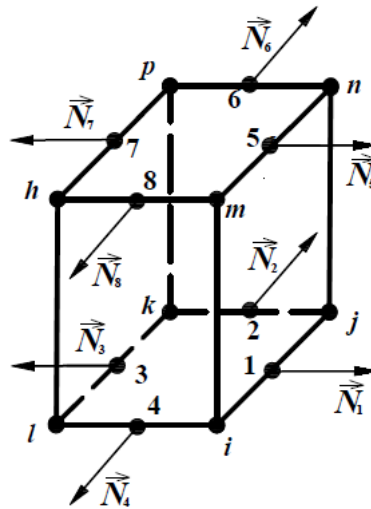


Рисунок 2 – Призматический элемент с четырехугольным основанием

Figure 2 – Prismatic element with a quadrangular base

Соотношения (19), (20) могут быть представлены в матричном виде:

$$\{\lambda'_\Delta\}^T [D'] \{U_\Delta^r\} = 0; \quad \{\lambda''_\Delta\}^T [D''] \{U_\Delta^r\} = 0; \quad (21)$$

$$\{\lambda'_\diamond\}^T [G'] \{U_\diamond^r\} = 0; \quad \{\lambda''_\diamond\}^T [G''] \{U_\diamond^r\} = 0, \quad (22)$$

где $\{\lambda'_\Delta\}^T = \{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3\}$, $\{\lambda''_\Delta\}^T = \{\lambda_4 \lambda_5 \lambda_6\}$, $\{\lambda'_\diamond\}^T = \{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4\}$, $\{\lambda''_\diamond\}^T = \{\lambda_5 \lambda_6 \lambda_7 \lambda_8\}$

Матричные соотношения (21) и (22) используются в качестве дополнительных слагаемых в функционале Лагранжа, минимизацией которого по $\{U_\Delta^r\}^T$ и $\{U_\diamond^r\}^T$ формируются матрица жесткости и столбец узловых усилий призматических конечных элементов, например, для конечного элемента с четырехугольным основанием:

$$\Phi_L = \int_V \{\epsilon_{py}\}^T \{\sigma^{py}\} dV - \int_V \{U\}^T \{P\} dV + \{\lambda'_\diamond\}^T [G'] \{U_\diamond^r\} + \{\lambda''_\diamond\}^T [G''] \{U_\diamond^r\}, \quad (23)$$

где $\{P\}^T$ – столбец внешней нагрузки.

Функционал (23) с учетом (9), (11), (17) может быть преобразован к виду:

$$\begin{aligned}\Phi_L = \{U_\diamond^r\}^T [T]^T \int_V [B]^T [C] [B] dV [T] \{U_\diamond^r\} - \{U_\diamond^r\}^T [T]^T \int_V [A]^T \{P\} dV + \\ + \{\lambda'_\diamond\}^T [G'] \{U_\diamond^r\} + \{\lambda''_\diamond\}^T [G''] \{U_\diamond^r\},\end{aligned}\quad (24)$$

где $[A] = \begin{bmatrix} \{\psi\}^T & \{0\}^T & \{0\}^T \\ \{0\}^T & \{\psi\}^T & \{0\}^T \\ \{0\}^T & \{0\}^T & \{\psi\}^T \end{bmatrix}$; $[B] = [D][A]$ матрица $[T]$ представляет собой матрицу перехода от столбца (13) к столбцу (15).

Минимизируя (24) по $\{U_\diamond^T\}^T$, $\{\lambda'_\diamond\}^T$ и $\{\lambda''_\diamond\}^T$, получим следующую систему матричных уравнений:

$$\begin{cases} \partial \Phi_L / \partial \{U_\diamond^T\}^T = [T]^T \int_V [B]^T [C][B] dV [T] \{U_\diamond^T\} - \\ - [T]^T \int_V [A]^T \{P\} dV + [G']^T \{\lambda'_\diamond\} + [G'']^T \{\lambda''_\diamond\} = 0; \\ \partial \Phi_L / \partial \{\lambda'_\diamond\}^T = [G']^T \{U_\diamond^T\} = 0; \\ \partial \Phi_L / \partial \{\lambda''_\diamond\}^T = [G'']^T \{U_\diamond^T\} = 0. \end{cases} \quad (25)$$

Дальнейшее формирование матрицы жесткости и столбца узловых усилий призматического конечного элемента осуществляется в соответствии с общепринятыми в МКЭ процедурами [1-3, 10, 11, 14, 18-20, 23, 25].

Пример расчета. В качестве примера было исследовано НДС участка напорного трубопровода, поперечное сечение которого представляло собой эллипс, так как в реальной действительности идеальную форму кругового цилиндра сохранить сложно под действием внешней нагрузки, природных, коррозионных и других факторов. При такой постановке задачи рассматриваемый трубопровод не является оболочкой вращения, что приводит к необходимости адекватной параметризации отсчетной поверхности. Данная проблема была решена с использованием разработанных ранее авторами формул параметризации оболочек эллипсоидального типа [15]. Трубопровод был нагружен внутренним давлением интенсивности q . По торцам участка трубопровод был жестко защемлен. Вследствие наличия плоскостей симметрии рассматривалась 1/8 часть участка трубопровода. Расчеты выполнялись в двух вариантах. В первом варианте использовался призматический конечный элемент с треугольным основанием. Во втором варианте применялся призматический элемент с четырехугольным основанием.

Результаты расчетов показали, что в обоих вариантах наблюдается быстрая сходимость вычислительного процесса. Значения напряжений, вычисленные по первому и второму вариантам, различаются между собой незначительно.

Далее, при фиксированной сетке дискретизации поверхности трубопровода, варьировалось число элементов дискретизации по толщине от одного до трех. Анализ результатов расчетов показал, что с увеличением числа элементов дискретизации, на которое разбивалась стенка трубопровода, значения напряжений в жесткой заделке возрастают и приближаются по величине к значениям напряжений, вычисленных с применением двумерных конечных элементов с корректирующими множителями Лагранжа [24].

Заключение. На основании выполненных исследований можно сделать вывод об эффективности разработанных призматических конечных элементов и о приемлемой точности значений напряжений, вычисленных с использованием этих элементов дискретизации при анализе НДС инженерных объектов АПК.

Библиографический список

1. Агапов В. П., Айдемиров К. Р. Расчет ферм методом конечных элементов с учетом геометрической нелинейности // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 4-7.
2. Железнов Л. П., Кабанов В. В., Бойко Д. В. Нелинейное деформирование и устойчивость дискретно подкрепленных эллиптических цилиндрических композитных оболочек при кручении и внутреннем давлении // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2018. № 2. С. 27-34.
3. Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Гамзатова Е. А. Расчет тонких пластин по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода с исключением перемещений конечных элементов как жесткого целого // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 3 (711). С. 5-13.
4. Каюмов Р. А., Мухамедова И. З., Хазиева Г. Ф. Потеря устойчивости листовых косоугольных консолей // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 3 (45). С. 129-135.
5. Ким А. Ю., Плотников С. В. Сравнение экспериментального и численного исследования большепролетного пневматического линзообразного сооружения // Научное обозрение. 2016. № 15. С. 36-41.
6. Козлов В. А. Напряженно-деформированное состояние многосвязных призматических конструкций, закрепленных по скошенному сечению // Научный журнал строительства и архитектуры. 2015. № 4 (40). С. 11-17.
7. Пятикрестовский К. П., Травуш В. И. О программировании нелинейного метода расчета деревянных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 115-119.
8. Хайруллин Ф. С., Мингалиев Д. Д. Расчет тонких оболочек с использованием аппроксимирующих функций различного порядка // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 14. С. 102-104.
9. Хайруллин Ф. С., Сахбиев О. М. Метод определения напряженно-деформированного состояния трехмерных конструкций сложной формы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 1. С. 36-42.
10. Чепурненко А. С., Языев Б. М., Турко М. С. Расчет цилиндрических гофрированных конструкций при помощи полуаналитического метода конечных элементов // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 12 (64). С. 49-56.
11. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems / A. M. Belostotsky, P. A. Akimov, O. A. Negrozov, N. O. Petryashev, S. O. Petryashev, S. V. Sherbina, D. K. Kalichava, T. B. Kaytukov // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 2. Р. 169-178.
12. Badriev I. B., Paimushin V. N. Refined Models of Contact Interaction of a Thin Plate with Positioned on Both Sides Deformable Foundations // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2017. №38(5), P. 779-793.
13. Galishnikova V. V., Pahl P. Ja. Analysis of frame buckling without sidesway classification // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Vol. 14. № 4. С. 299-312.
14. Hanslo Peter, Larson Mats G., Larson Fredrik. Tangential differential calculus and the finite element modeling of a large deformation elastic membrane problem // Comput. Mech. 2015. V. 56, № 1. P. 87-95.
15. Klochkov Y. V., Nikolaev A. P., Kiselyova T. A. To the question on continuous parameterization of spatial figures having an ellipse in a section // Russian Mathematics. 2017. Vol. 61. № 9. P. 27-31.
16. Klochkov Y. V., Nikolaev A. P., Vakhnina O. V. Calculation of rotation shells using finite triangular elements with Lagrange multipliers in variative approximation of displacements // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2016. Vol. 45. № 1. P. 51-58.
17. Krivoshapko S. N., Gbaguidi-Aisse G. L. Geometry, static, vibration and bucking analysis and applications to thin elliptic paraboloid shells // The Open Construction and Building Technology Journal. 2016. Vol. 10. P. 3-28.
18. Lalin V., Rybakov V., Sergey A. The finite elements for design of frame of thin-walled beams // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 578-579. P. 858-863.

19. Lei Zhen, Gillot Frederic, Jezeguel. Developments of the mixed grid isogeometric Reissner-Mindlin shell: serendipity basis and modified reduced quadrature // *Int. J. Mech.* 2015. Vol. 54. P. 105-119.
20. Nguyen Nhung, Waas Anthonym. Nonlinear, finite deformation, finite element analysis // *ZAMP. Z. Angew. math. and Phys.* 2016. Vol. 67, № 9. P. 35/1-35/24.
21. Solodovnikov A. S., Sheshenin S.V. Numerical study of strength properties for a composite material with short reinforcing fibers // *Moscow University Mechanics Bulletin.* 2017. Vol. 72. № 4. P. 94-100.
22. Storozhuk E. A., Komarchuk S. M. Stress Distribution Near a Circular Hole in a Flexible Orthotropic Cylindrical Shell of Elliptical Cross-Section // *International Applied Mechanics.* 2018. №54(6). P. 687-694.
23. Tyukalov Yu. Ya. Finite element models in stresses for bending plates // *Инженерно-строительный журнал.* 2018. № 6 (82). P. 170-190.
24. Using Lagrange multipliers in the triangular element of a nonshallow shell under variable interpolation of displacements / Y. V. Klochkov, A. P. Nikolaev, O. V. Vakhnina, T. A. Kiselyova // *Journal of Applied and Industrial Mathematics.* 2017. Vol. 11. № 4. P. 535-544.
25. Yamashita Hirok, Valkeapaa Antti I., Jayakumar Paramsothy, Syqiyama Hiroyuki. Continuum mechanics based bilinear shear deformable shell element using absolute nodal coordinate formulation // *Trans. ASME. J. Comput. and Nonlinear Dyn.* 2015. Vol. 10, № 5. P. 051012/1-051012/9.

References

1. Agapov V. P., Ajdemirov K. R. Raschet ferm metodom konechnykh jelementov s uchetom geometricheskoj nelinejnosti // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo.* 2016. № 11. P. 4-7.
2. Zhelezov L. P., Kabanov V. V., Bojko D. V. Nelinejnoe deformirovanie i ustojchivost' diskretno podkreplennykh jellipticheskikh cilindricheskikh kompozitnykh obolochek pri kruchenii i vnutrennem davlenii // *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Aviacionnaya tehnika.* 2018. № 2. P. 27-34.
3. Ignat'ev A. V., Ignat'ev V. A., Gamzatova E. A. Raschet tonkih plastin po metodu konechnykh jelementov v forme klassicheskogo smeshannogo metoda s isklyucheniem peremeschenij konechnykh jelementov kak zhestkogo celogo // *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo.* 2018. № 3 (711). P. 5-13.
4. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Haziyeva G. F. Poterya ustojchivosti listovykh kosougol'nykh konsol' // *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta.* 2018. № 3 (45). S. 129-135.
5. Kim A. Yu., Plotnikov S. V. Sravnenie jeksperimental'nogo i chislennogo issledovaniya bol'sheproletnogo pnevmaticheskogo linzobraznogo sooruzheniya // *Nauchnoe obozrenie.* 2016. № 15. P. 36-41.
6. Kozlov V. A. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie mnogosvyaznykh prizmaticheskikh konstrukcij, zakreplennykh po skoshennomu secheniyu // *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury.* 2015. № 4 (40). P. 11-17.
7. Pyatikrestovskij K. P., Travush V. I. O programmirovanii nelinejnogo metoda rascheta derevyannykh konstrukcij // *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo.* 2015. № 2. P. 115-119.
8. Hajrullin F. S., Mingaliev D. D. Raschet tonkih obolochek s ispol'zovaniem aproksimiruyuschiy funkciy razlichnogo poryadka // *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta.* 2017. Vol. 20. № 14. P. 102-104.
9. Hajrullin F. S., Sahbiev O. M. Metod opredeleniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya trekhmernykh konstrukcij slozhnoj formy // *Stroitel'naya mehanika inzhenernykh konstrukcij i sooruzhenij.* 2016. № 1. P. 36-42.
10. Chepurnenko A. S., Yazyev B. M., Turko M. S. Raschet cilindricheskikh gofrirovannykh konstrukcij pri pomoschi poluanaliticheskogo metoda konechnykh jelementov // *Stroitel'stvo i tehnogennaya bezopasnost'.* 2018. № 12 (64). P. 49-56.
11. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems / A. M. Belostotsky, P. A. Akimov, O. A. Negrozov, N. O. Petryashev, S. O. Petryashev, S. V. Sherbina, D. K. Kalichava, T. B. Kaytukov // *Инженерно-строительный журнал.* 2018. № 2. P. 169-178.

12. Badriev I. B., Paimushin V. N. Refined Models of Contact Interaction of a Thin Plate with Positioned on Both Sides Deformable Foundations // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2017. №38(5), P. 779-793.
13. Galishnikova V. V., Pahl P. Ja. Analysis of frame buckling without sidesway classification // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Vol. 14. № 4. С. 299-312.
14. Hanslo Peter, Larson Mats G., Larson Fredrik. Tangential differential calculus and the finite element modeling of a large deformation elastic membrane problem // Comput. Mech. 2015. V. 56, № 1. P. 87-95.
15. Klochkov Y. V., Nikolaev A. P., Kiselyova T. A. To the question on continuous parameterization of spatial figures having an ellipse in a section // Russian Mathematics. 2017. Vol. 61. № 9. P. 27-31.
16. Klochkov Y. V., Nikolaev A. P., Vakhnina O. V. Calculation of rotation shells using finite triangular elements with Lagrange multipliers in variative approximation of displacements // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2016. Vol. 45. № 1. P. 51-58.
17. Krivoshepko S. N., Gbaguidi-Aisse G. L. Geometry, static, vibration and bucking analysis and applications to thin elliptic paraboloid shells // The Open Construction and Building Technology Journal. 2016. Vol. 10. P. 3-28.
18. Lalin V., Rybakov V., Sergey A. The finite elements for design of frame of thin-walled beams // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 578-579. P. 858-863.
19. Lei Zhen, Gillot Frederic, Jezeguel. Developments of the mixed grid isogeometric Reissner-Mindlin shell: serendipity basis and modified reduced quadrature // Int. J. Mech. 2015. Vol. 54. P. 105-119.
20. Nguyen Nhung, Waas Anthonym. Nonlinear, finite deformation, finite element analysis // ZAMP. Z. Angew. math. and Phys. 2016. Vol. 67, № 9. P. 35/1-35/24.
21. Solodovnikov A. S., Sheshenin S.V. Numerical study of strength properties for a composite material with short reinforcing fibers // Moscow University Mechanics Bulletin. 2017. Vol. 72. № 4. P. 94-100.
22. Storozhuk E. A., Komarchuk S. M. Stress Distribution Near a Circular Hole in a Flexible Orthotropic Cylindrical Shell of Elliptical Cross-Section // International Applied Mechanics. 2018. №54(6). P. 687-694.
23. Tyukalov Yu. Ya. Finite element models in stresses for bending plates // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6 (82). P. 170-190.
24. Using Lagrange multipliers in the triangular element of a nonshallow shell under variable interpolation of displacements / Y. V. Klochkov, A. P. Nikolaev, O. V. Vakhnina, T. A. Kiselyova // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2017. Vol. 11. № 4. P. 535-544.
25. Yamashita Hirok, Valkeapaa Antti I., Jayakumar Paramsothy, Syqiyama Hiroyuki. Continuum mechanics based bilinear shear deformable shell element using absolute nodal coordinate formulation // Trans. ASME. J. Comput. and Nonlinear Dyn. 2015. Vol. 10, № 5. P. 051012/1-051012/9.

Информация об авторах

Клочков Юрий Васильевич, заведующий кафедры «Высшая математика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), доктор технических наук, профессор

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1027-1811> klotchkov@bk.ru

Николаев Анатолий Петрович, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), доктор технических наук, профессор

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7098-5998> anpetr40@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, профессор кафедры «Механика», заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), доктор технических наук, доцент

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284> fsd_58@mail.ru

Вахнина Ольга Владимировна, доцент кафедры «Высшая математика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), кандидат технических наук, доцент

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9234-7287> ovahnina@bk.ru

Клочков Михаил Юрьевич, студент физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (РФ, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)

ORCID: m.klo4koff@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 658.512:004.04:633

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-28

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВЫХ В ЦИФРОВЫХ БАЗОВЫХ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ АГРАРНОГО ВУЗА

FUNCTIONAL MODELS OF GRAIN PRODUCTION IN BASIC FARMS OF AGRICULTURAL UNIVERSITY

О. В. Кочеткова¹, доктор технических наук, профессор

А. С. Матвеев¹, кандидат физико-математических наук, доцент

Д. П. Арьков^{1,2}, кандидат технических наук, доцент

Е. В. Ширяева¹, кандидат технических наук, доцент

O. V. Kochetkova¹, A. S. Matveev¹, D. P. Arkov^{1,2}, E. V. Shiryaeva¹

¹Волгоградский государственный аграрный университет

²Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации
и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград

¹Volgograd State Agrarian University

²Federal Scientific Center of Agroecology, Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd

Дата поступления в редакцию 14.09.2019

Received 14.09.2019

Дата принятия к печати 19.12.2019

Submitted 19.12.2019

На основе анализа и реорганизации функциональных моделей бизнес-процессов производства зерновых «Как есть», выполненных ранее авторами, представлены модели модернизированных бизнес-процессов «Как будет» производства зерновых в цифровых базовых фермерских хозяйствах аграрного вуза. Модели выполнены в современной нотации BPMN, которая признана как международный стандарт моделирования бизнес-процессов и может быть использована без дополнительных трудозатрат для перевода модели процесса в соответствующий программный код. Для реализации модернизированных бизнес-процессов фермерское хозяйство должно обладать информационной системой, состоящей из трех взаимосвязанных функциональных подсистем: хранилище первичных данных, система поддержки принятия решений и система мониторинга показателей (климата, почвы, техники и пр.). В базе знаний информационной системы хранятся выстроенные цепочки агротехнологических операций, многофакторные модели технологий выращивания сельскохозяйственных культур, данные мониторинга. Используя эти данные, система поддержки принятия решений подсказывает сотруднику, какие технологические операции следует выполнять. Предусмотрена возможность при выполнении каждой операции, используя систему датчиков и введенные ранее экономистом и хранимые в ИС показатели, автоматически осуществлять расчет затрат, вычисление экономических показателей и оценивать влияние каждой операции на прогнозируемый урожай. Разработанные модели бизнес-процессов предполагают дистанционно осуществлять контроль качества выполнения работ, выполнять «умную» коррекцию технологических режимов, что позволит экономно использовать производственные ресурсы, энергию, топливо, удобрения, химикаты, а также улучшить показатели качества почвы. Разработанные модели биз-

нес-процессов сельскохозяйственного предприятия по производству зерновых в полной мере пригодны для реализации на практике работ по внедрению современных цифровых технологий и информационных систем. Внедрение разработанных моделей бизнес-процессов создаст условия для рационального управления хозяйством с учетом реальных условий, снижения рисков и повышения эффективности деятельности, а также для минимизации влияния человеческого фактора. В дальнейшем авторами более детально будут исследованы различные аспекты разработки системы мониторинга с описанием типов датчиков и измеряемых показателей, протоколов обмена данными, организации хранилища первичных данных и обеспечения доступа к данным.

Relying on analysis and reorganization of functional models of the business processes of grain production «As it is» performed earlier by authors, this article presents models of modernized business processes «As will be» grain production in basic digital farms of the agricultural university. The models are made in modern BPMN notation, which is recognized as an international business process modelling standard and without additional labor can be used for process model converting into appropriate software code. In order to implement modernized business processes the farm must have information system consisting of three interconnected functional subsystems: primary data storage, decision support system and index monitoring system (climate, soil, technology, etc.). Established chains of agro-technological operations, multi-factor models of crop growing technologies, monitoring data are being stored in information system database. Using this data, the decision support system tells the employee which technological operations to perform. Using a sensor system, data previously entered by economist and indexes stored inside information system it is possible to automatically calculate costs, economic indexes and impact of each operation on projected harvest. Developed business processes models allow to remotely supervise work quality and perform «smart» correction of technological modes, which in return will allow rational usage of production resources, energy, fuel, fertilizers, chemicals, and improvement of soil quality. Aforementioned models are fully suitable for modern digital technologies and information systems to be implemented. Introduction of developed business processes models will create conditions for rational management of the economy taking into account real circumstances, reducing risks and improving efficiency, as well as to minimize human factor influence. Subsequently the authors will examine various aspects of monitoring system development, sensor types description and measured indexes, data exchange protocols, organization of primary data storage and data access in more detail.

Ключевые слова: цифровые технологии, сельскохозяйственные предприятия, моделирование бизнес-процессов, бизнес-процессы, системы поддержки принятия решений, цифровое сельское хозяйство.

Key words: digital technologies, agricultural enterprises, modeling, business processes, decision support systems.

Цитирование. Кочеткова О. В., Матвеев А. С., Арьков Д. П., Ширяева Е. В. Модели использования информационных систем при производстве зерновых в базовых фермерских хозяйствах аграрного вуза с целью внедрения цифровых технологий в базовых хозяйствах аграрного вуза. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 237-246. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-28.

Citation. Kochetkova O. V., Matveev A. S., Arkov D. P., Shiryayeva E. V. Functional models of grain production in basic farms of agricultural university. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 237-246 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-28.

Введение. Одной из приоритетных задач развития России на современном этапе является обеспечение продовольственной безопасности, решающий вклад в решение которой вносит сельскохозяйственное производство. Постоянное повышение спроса на продукты питания в глобальных масштабах приводит к необходимости интенсификации производства продукции растениеводства [8]. В мировом земледелии в сравнении с другими культурами наибольшую площадь всей пашни занимают зерновые культуры. Пшеница как продовольственная культура – один из основных источников энергии для человека и животных. Значение её как мировой культуры будет неперестанно возрастать.

тать, поскольку она представляет собой питательную и экономически выгодную продовольственную культуру, которую можно выращивать в очень широких и разнообразных условиях.

В современных условиях в соответствии с требованиями Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Российской Федерации на 2013-2020 годы и ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство» [1] для надежного обеспечения продовольственной безопасности требуется внедрение новых производственных и цифровых технологий, «умной» техники, эффективной организации производства [6, 9].

В условиях, усугубляемых глобальными изменениями климата, актуальной является задача проектирования эффективных бизнес-процессов производства сельскохозяйственной продукции [5, 14-15]. Одной из первоочередных задач повышения качества и эффективности производства продукции растениеводства является исследование бизнес-процессов, позволяющее идентифицировать, оценить и представить процессы как основу для их организации и улучшения [3]. Для этого сначала создаются функциональные модели существующих бизнес-процессов (модели «Как есть»), выполняется их анализ с целью отыскания слабых мест, информационных и организационных разрывов, производится оценка целесообразности использования различных ресурсов. На основании полученных результатов принимается решение о реорганизации бизнес-процессов производства сельскохозяйственных культур.

В работе [2] доказано, что внедрение цифровых технологий в сельскохозяйственное производство приведет к изменению модели ведения бизнеса, что, в свою очередь, изменит все группы бизнес-процессов сельхозпредприятий. При этом кардинальные изменения затронут все уровни управления, начиная от оперативного и кончая стратегическим. Реорганизация бизнес-процессов на оперативном уровне повлечет усовершенствование ресурсного обеспечения и отдельных операций бизнес-процессов без существенного изменения технологии их выполнения. На тактическом уровне произойдут изменения технологии и регламента бизнес-процессов, а на стратегическом – изменится сеть бизнес-процессов сельхозпредприятия.

В работе [4] выполнены моделирование, исследование и анализ одного из важнейших в цепочке ценности бизнес-процесса «Выполнить научные исследования и проектные работы» традиционного сельскохозяйственного предприятия, занимающегося производством растениеводческой продукции. Результаты выполненных работ позволили выявить низкий уровень использования цифровых технологий в операциях по сбору и обработке исходных данных, а также при выработке технологического и проектного решений в сельскохозяйственном производстве. Разработанные модели «Как есть» исследуемого процесса послужили основой для разработки новых, модернизированных бизнес-процессов, в которых предусмотрено использование современных цифровых технологий и систем поддержки принятия решений (СППР) для снижения рисков и повышения эффективности деятельности сельскохозяйственного предприятия [7, 10, 12].

Целью данного исследования является разработка на основе анализа и реорганизации функциональных моделей бизнес-процессов производства зерновых «Как есть» модернизированных бизнес-процессов «Как будет» в цифровых базовых фермерских хозяйствах аграрного вуза для реализации на практике работ по внедрению современных цифровых технологий и информационных систем.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели использовался процессный подход и моделирование бизнес-процессов, позволяющие описать логику выполняемых процессов, представленную в виде исполняемой BPM-системами нотации. На текущий момент популярная нотация процессного подхода BPMN 2.0.1 признана международным стандартом моделирования бизнес-процессов.

Результаты. Цифровое базовое фермерское хозяйство, занятое производством зерновых, должно обладать информационной системой (ИС), состоящей из трех взаимосвязанных функциональных подсистем: хранилище первичных данных, СППР и система мониторинга показателей (климата, почвы, техники и пр.). Такая концептуальная модель ИС хозяйства должна хранить в базе знаний выстроенные цепочки агротехнологических операций, многофакторные модели технологий выращивания сельскохозяйственных культур, данные мониторинг. Применение ИС подсказывает принимающему решение лицу необходимость использования в сложившейся ситуации тех или иных технологических операций при соответствующих значениях контролируемых параметров (например, пропашка с указанием типа плуга и глубины). Также при выполнении каждой операции с использованием системы датчиков и введенных ранее экономистом и хранимых в ИС показателей автоматически происходит расчет затрат, вычисление экономических показателей и оценка влияния каждой операции на прогнозируемый урожай.

На этапе первого уровня декомпозиции «Возделывание продукции» производится постоянный мониторинг операций и состояния объектов (техники, почвы, климата и пр.) с записью в хранилище первичных данных. На основании собранных данных и утвержденного плана проекта система поддержки принятия решений рекомендует переходить от одного подпроцесса к другому (рисунок 1).

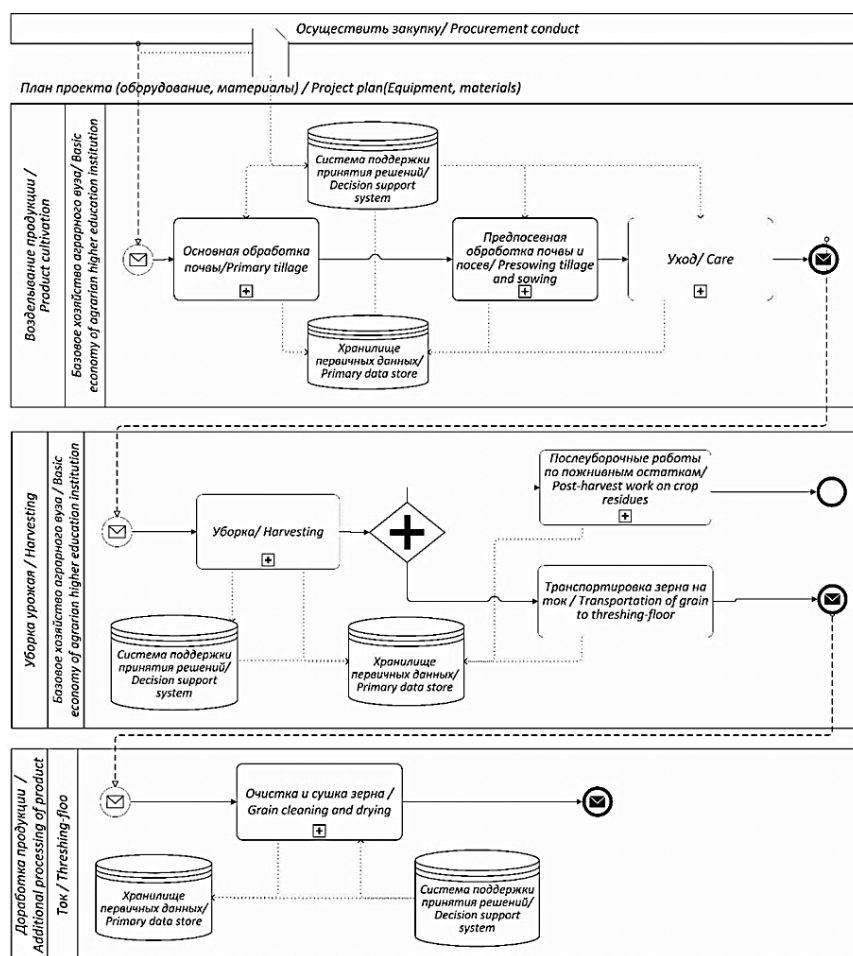


Рисунок 1 – BPMN-диаграмма «Как будет» процесса «Выполнить производство озимой пшеницы», лист 1

Figure 1 – BPMN-diagram «To Be» of «Implementing winter wheat production» process, Page 1

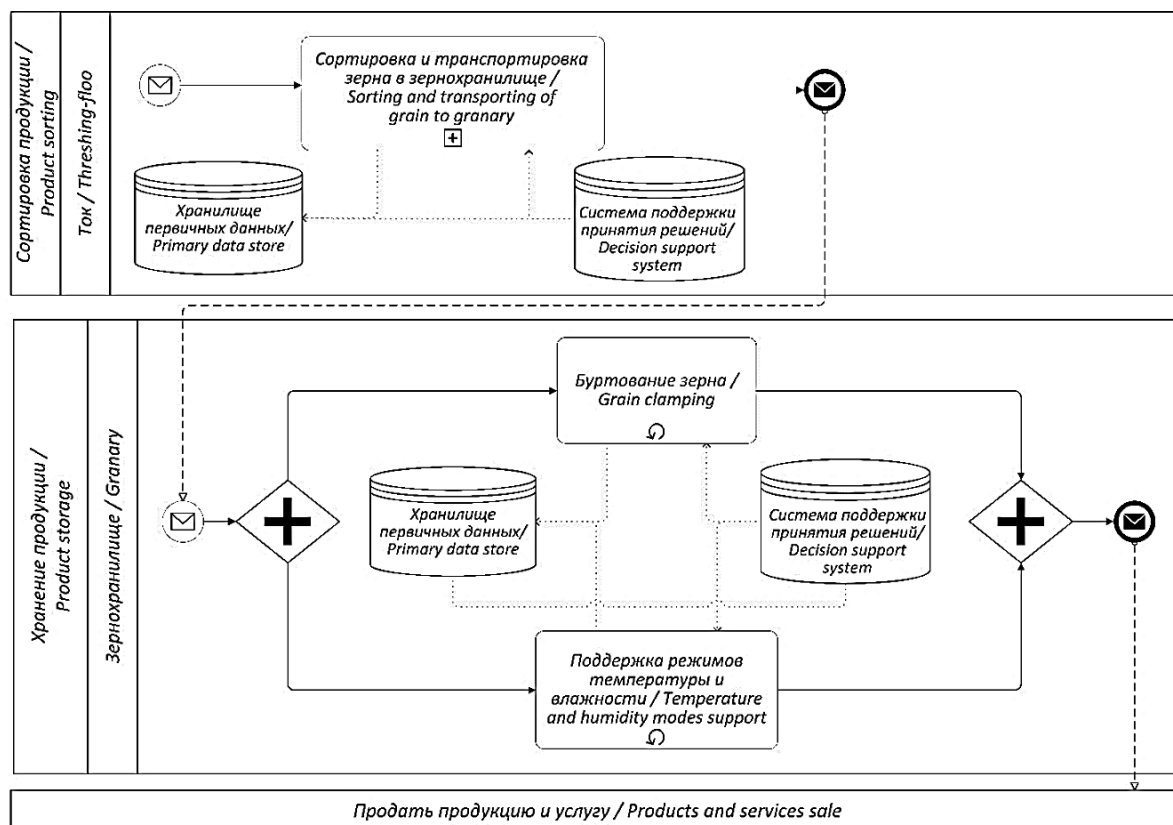


Рисунок 1 (продолжение)

Figure 1 (continuation)

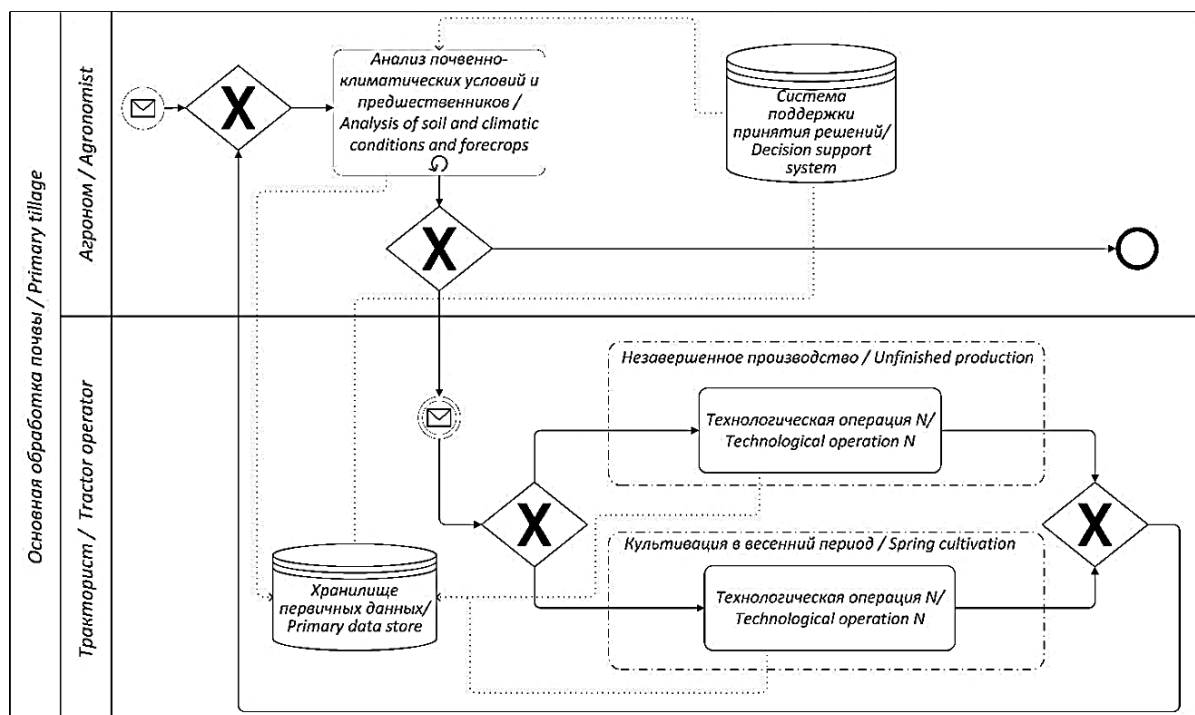


Рисунок 2 – Модель «Как будет» подпроцесса «Основная обработка почвы»

Figure 2 – Model «To Be» of «Primary tillage» subprocess

На рисунке 2 приведена детализация подпроцесса «Основная обработка почвы». При выполнении процесса планируется постоянно (циклично, а не разово) проводить мониторинг почвенно-климатических условий выращивания зерновых. На основании данных мониторинга СППР формирует рекомендацию проведения определенной технологической операции, например, лущение стерни, пахоту с рекомендованной глубиной пропашки, боронование, культивацию и пр. с указанием планируемых расходов и оценки влияния на итоговый результат (урожайность, рентабельность и другие экономические показатели). Цикличность мониторинга состояния поля позволяет не только более гибко выполнить бизнес-процессы, но и внести корректировки в планируемые результаты, сравнить первоначальный план с ожидаемыми показателями на текущий момент с учетом рисков. Как только показатели почвенно-климатических условий станут соответствовать заложенным в моделях показателям и утвержденному проекту по использованию поля, СППР порекомендует перейти к следующему подпроцессу «Предпосевная обработка почвы и посевов».

Процесс «Предпосевная обработка почвы и посевов» разделен на две цепочки: подготовка семян и работа в поле (рисунок 3). Каждую технологическую операцию необходимо отслеживать при помощи датчиков и в соответствии с заложенными моделями учитывать рекомендации СППР. Такой подход, с одной стороны, снижает требования к уровню квалификации агронома и работников, а с другой, – уменьшает вероятность рисков принятия неверных управленческих решений, ведущих к снижению урожайности.

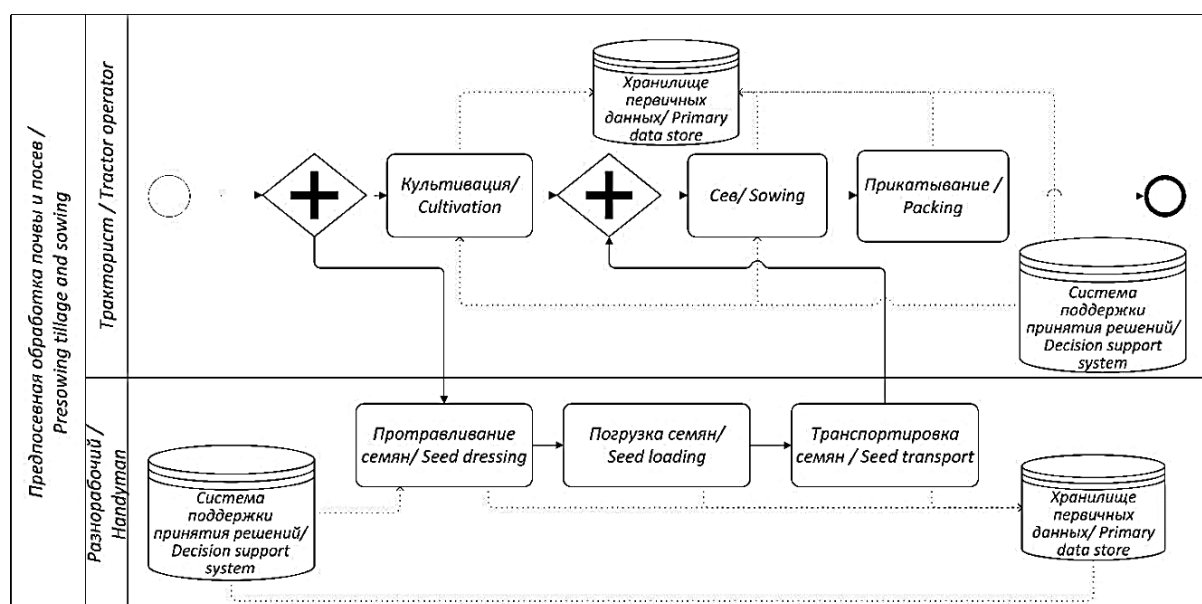


Рисунок 3 – Модель «Как будет» подпроцесса «Предпосевная обработка почвы и посевов»

Figure 3 – Model «To Be» of «Presowing tillage and sowing» subprocess

Модель следующего подпроцесса «Уход» аналогична модели подпроцесса «Основная обработка почвы», но отличается технологическими операциями и более разнообразными средствами мониторинга состояния поля (рисунок 4). Так, помимо почвенно-климатических показаний отслеживается засоренность поля, состояние растений на всех этапах вегетации и рекомендуются к проведению конкретные технологические операции по улучшению состояния растений и урожайности [13].

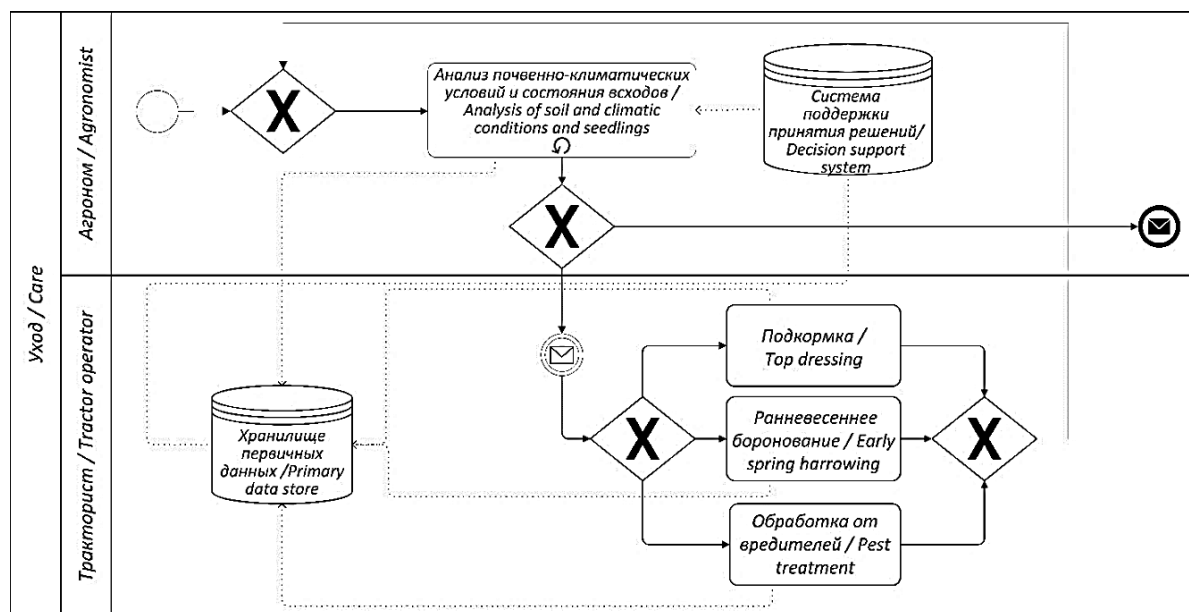


Рисунок 4 – Модель «Как будет» подпроцесса «Уход»

Figure 4 – Model «To Be» of «Care» subprocess

Перед уборкой урожая СППР в зависимости от засоренности поля рекомендует агроному технологические операции по уборке (рисунок 5). Во время самой уборки обязательно проводится мониторинг показателей использования техники и урожая с записью в хранилище первичных данных.

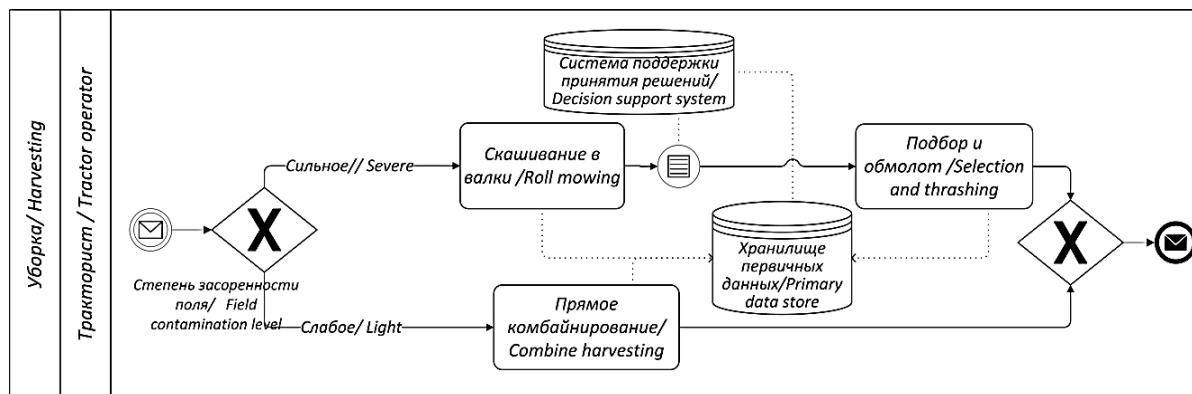


Рисунок 5 – Модель «Как будет» подпроцесса «Уборка»

Figure 5 – Model «To Be» of «Harvesting» subprocess

При выполнении остальных подпроцессов, таких как «Транспортировка зерна на ток», «Послеуборочные работы по пожнивным остаткам», «Очистка и сушка зерна», «Сортировка и транспортировка зерна в зернохранилище», «Буртование зерна», «Поддержка режимов температуры и влажности», проводится мониторинг состояния техники и количества собранных зерновых с записью в систему хранения первичных данных, на основании которых СППР рекомендует выполнить необходимые операции. Мониторинг показателей не только позволяет рассчитать издержки и другие экономические показатели, сравнить достигнутые показатели с планируемыми, но и дает возможность руководству предприятия оценить влияние принятых решений на конечные показатели, а разработчикам моделей для СППР уточнить и скорректировать принятые модели.

Обсуждение. Разработанные модели бизнес-процессов выращивания зерновых предполагают широкое использование современных датчиков, технологий интернета вещей и автоматизированных систем поддержки принятия решений. Это позволит снизить издержки при возделывании продукции за счет сокращения использования химикатов, удобрений, топлива, трудовых ресурсов. Кроме того, цифровизация производственных и управленческих процессов создаст условия для рационального управления хозяйством с учетом реальных условий, а также для минимизации влияния «человеческого фактора».

Более детального рассмотрения, выходящего за рамки статьи, требуют вопросы взаимодействия вуза с агропредприятием в процессе производства продукции и услуг; разработки системы мониторинга с описанием типов датчиков и измеряемых показателей, протоколов обмена данными, организации хранилища первичных данных и обеспечения доступа к данным.

Заключение. Приведенные в статье разработки создают основу для реализации на практике работ по внедрению современных цифровых технологий и информационных систем. Построение и внедрение предлагаемых моделей бизнес-процессов и концепции ИС позволят оперативно отслеживать выполнение проекта по использованию каждого поля, планировать и отслеживать затраты, прогнозировать урожай, отслеживать влияние каждой технологической операции на урожайность и экономические показатели. Как следствие, постоянный мониторинг производства зерновых позволит вовремя и корректно принять управленческие решения и уменьшить влияние квалификации персонала на итоговый результат.

Библиографический список

1. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 48 с.
2. Кочеткова О. В. Моделирование и анализ процесса «Выполнить научные исследования и проектные работы» с целью внедрения цифровых технологий в базовых хозяйствах аграрного вуза / О. В. Кочеткова [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. №2 (54). С. 303-314.
3. Кочеткова О. В. Трансформация бизнес-процессов сельскохозяйственных предприятий для внедрения технологии интернета вещей // Science in the modern information society XIX: Proceedings of the Conference. North Charleston, 23-24.04.2019, Vol. 1. Morrisville, NC, USA: Lulu Press, 2019. P. 95-97.
4. Кочеткова О. В., Ширяева Е. В., Васильев М. П. Формализация и анализ процессов производства озимой пшеницы в базовых фермерских хозяйствах аграрного вуза // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. №3 (55). С. 332-342.
5. Красильникова Л. Е. Теоретические аспекты построения бизнес-процессов управленческих решений по организации эффективного развития отечественного АПК // Пермский аграрный вестник. 2017. № 1 (17). С. 131-136.
6. Москалев С. М., Клименок-Кудинова Н. В. Искусственный интеллект и интернет вещей как инновационные методы совершенствования агропромышленного сектора // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (52). С. 121-130.
7. Ткаченко В. В., Лытнев В. В. Разработка комплексной автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений в управлении технологическими процессами растениеводства (на материалах АПК Краснодарского края) // Вестник Академии знаний. 2018. № 6 (29). С. 249-253.
8. Хорошева Е. С., Денисова Н. В. Бизнес-процессы в АПК: сущность, виды и особенности в современных экономических условиях // Научный журнал. 2018. № 11 (34). С. 14-19.
9. Шилерова Е., Овчинников А. С., Балашова Н. Н. Использование принципов точного земледелия для управления бизнесом // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1 (37). С. 218-223.

10. A smart decision system for digital farming / C. C. Baseca, S. Sendra, J. Lloret, J. Tomas // *Agronomy* 2019. № 9(5). P. 216. doi:10.3390 / agronomy 9050216.
11. Digital marketplace and FinTech to support agriculture sustainability / A M. Nshari, N. Almunawar, M. Masri, M. Hamdan // *Energy Procedia*. 2019. № 156. P. 234-238.
12. Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe / M. Kernecker, Knierim, A. Wurbs, T. Kraus, F. Borges // *Precision Agriculture*. doi:10.1007/s11119-019-09651-z.
13. Optimizing nitrogen management to achieve high yield, high nitrogen efficiency and low nitrogen emission in winter wheat / J. Duan Shao, Y. He, L. Li, X. Hou, G. Li, S. Feng, W.Y. Zhu // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 697 December. P. 20.
14. GeoFarmer: A monitoring and feedback system for agricultural development projects / A. J. Eitzinger, K. Cock, C. R. Atzmanstorfer, P. Binder, O. Läderach, M. Bonilla-Findji, C. Bartling, L. Mwongera, Zurita, and A. Jarvis // *Computers and Electronics in Agriculture* 2019. 158, P.109-121.
15. Wireless future of the agrarian market as a basis of food security provision (Book Chapter) / S. V. Lobova, N. Alekseev, A. V. Bogoviz, J. V. Ragulina // *Studies in Computational Intelligence*. 2019. № 826. P. 975-981.

Reference

1. Vedomstvennyj proekt «Cifrovoe sel'skoe hozyajstvo»: oficial'noe izdanie. - M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2019. 48 p.
2. Kochetkova O. V. Modelirovanie i analiz processa “Vypolnit' nauchnye issledovaniya i proektnye raboty” s cel'yu vnedreniya cifrovyyh tehnologij v bazovyh hozyajstvakh agrarnogo vuza / O. V. Kochetkova [i dr.] // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2019. №2 (54). P. 303-314.
3. Kochetkova O. V. Transformaciya biznes-processov sel'skohozyajstvennyh predpriyatij dlya vnedreniya tehnologij interneta veschej // *Science in the modern information society XIX: Proceedings of the Conference*. North Charleston, 23-24.04.2019, Vol. 1. Morrisville, NC, USA: Lulu Press, 2019. P. 95-97.
4. Kochetkova O. V., Shiryayeva E. V., Vasil'ev M. P. Formalizaciya i analiz processov proizvodstva ozimoy pshenicy v bazovyh fermerskih hozyajstvakh agrarnogo vuza // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2019. №3 (55). P. 332-342.
5. Krasil'nikova L. E. Teoreticheskie aspekty postroeniya biznes-processov upravlencheskih reshenij po organizacii jeffektivnogo razvitiya otechestvennogo APK // *Permskij agrarnyj vestnik*. 2017. № 1 (17). P. 131-136.
6. Moskalev S. M., Klimenok-Kudinova N. V. Iskusstvennyj intellekt i internet veschej kak innovacionnye metody sovershenstvovaniya agropromyshlennogo sek-tora // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. № 3 (52). P. 121-130.
7. Tkachenko V. V., Lytnev V. V. Razrabotka kompleksnoj avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy podderzhki prinyatiya reshenij v upravlenii tehnologicheskimi processami rastenievodstva (na materialah APK Krasnodarskogo kraja) // *Vestnik Akademii znaniy*. 2018. № 6 (29). P. 249-253.
8. Horosheva E. S., Denisova N. V. Biznes-processy v APK: suschnost', vidy i osobennosti v sovremennyh jekonomicheskikh usloviyah // *Nauchnyj zhurnal*. 2018. № 11 (34). P. 14-19.
9. Shilerova E., Ovchinnikov A. S., Balashova N. N. Ispol'zovanie principov tochnogo zemledeliya dlya upravleniya biznesom // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouni-versitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2015. № 1 (37). P. 218-223.
10. A smart decision system for digital farming / C. C. Baseca, S. Sendra, J. Lloret, J. Tomas // *Agronomy* 2019. № 9(5). P. 216. doi:10.3390 / agronomy 9050216.
11. Digital marketplace and FinTech to support agriculture sustainability / A M. Nshari, N. Almunawar, M. Masri, M. Hamdan // *Energy Procedia*. 2019. № 156. P. 234-238.
12. Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe / M. Kernecker, Knierim, A. Wurbs, T. Kraus, F. Borges // *Precision Agriculture*. doi:10.1007/s11119-019-09651-z.

13. Optimizing nitrogen management to achieve high yield, high nitrogen efficiency and low nitrogen emission in winter wheat / J. Duan Shao, Y. He, L. Li, X. Hou, G. Li, S. Feng, W.Y. Zhu // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 697 December. P. 20.

14. GeoFarmer: A monitoring and feedback system for agricultural development projects / A. J. Eitzinger, K. Cock, C. R. Atzmanstorfer, P. Binder, O. Läderach, M. Bonilla-Findji, C. Bartling, L. Mwongera, Zurita, and A. Jarvis // Computers and Electronics in Agriculture 2019. 158, P.109-121.

15. Wireless future of the agrarian market as a basis of food security provision (Book Chapter) / S. V. Lobova, N. Alekseev, A. V. Bogoviz, J. V. Ragulina // Studies in Computational Intelligence. 2019. № 826. P. 975-981.

Информация об авторах

Кочеткова Ольга Владимировна, проректор по стратегическому развитию и информатизации, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), доктор технических наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4892-1899>. E-mail: ovk555@bk.ru.

Матвеев Александр Сергеевич, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), кандидат физико-математических наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-0649>. E-mail: alexsmatveev@yandex.ru.

Арьков Дмитрий Петрович, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), кандидат технических наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5675-351X>. E-mail: el.shirjaeva@gmail.com.

Ширяева Елена Владимировна, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), кандидат технических наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4461-2511>. E-mail: el.shirjaeva@gmail.com.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 51:631.153

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-29

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

ASSESSMENT AND FORECASTING OF AGRICULTURAL PRODUCTION AND FOOD SECURITY BASED ON FUZZY COGNITIVE MATHEMATICAL MODELS

А. Ф. Рогачев^{1,2}, доктор технических наук

Е. В. Мелихова^{1,2}, кандидат технических наук

А. Ю. Руденко¹, кандидат экономических наук

A.F. Rogachev^{1,2}, **E.V. Melikhova**^{1,2}, **A.Yu. Rudenko**¹

¹Волгоградский государственный аграрный университет,

²Волгоградский государственный технический университет

¹Volgograd State Agrarian University

²Volgograd State Technical University

Дата поступления в редакцию 28.08. 2019

Received 28.08.2019

Дата принятия к печати 04.12.2019

Submitted 04.12.2019

Рассматриваются методология и программная реализация оценки и прогнозирования сельскохозяйственного производства, а также его влияние на уровень продовольственной безопасности (ПБ). Рассмотрены возможность и целесообразность реализации системного когнитивного подхода

для математического моделирования взаимосвязи основных групп факторов обеспечения ПБ согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации № 120 от 30 января 2010 г. При математическом моделировании учитывается взаимное влияние семи основных групп факторов ПБ (производство, потребление, импорт, экологическая инфраструктура и др.) с использованием математического аппарата нечетких когнитивных карт (НКК). Проведено численное моделирование и сравнение динамики изменения различных показателей по характеру полученных расчетных кривых. Проведенный когнитивный анализ позволил исследовать внутренние закономерности анализируемой системы и выявить тенденции их эволюции. Прикладной стороной исследования является реализация полученной когнитивной модели на ЭВМ в среде MathCad v.14 с использованием встроенных матричных функций этого математического пакета компьютерного моделирования, включая средства компаративной визуализации. Предложенное применение нечеткого когнитивного подхода с использованием импульсного матричного моделирования динамики исследуемых показателей обеспечивает решение задачи прогнозирования нормированного интегрального показателя ПБ в рамках системного подхода и может быть использовано при корректировке программ сельскохозяйственного производства в условиях импортозамещения.

The article considers the methodology and software implementation of the assessment and forecasting of agricultural production, as well as its impact on the level of food security. The possibility and feasibility of implementing a systematic cognitive approach for mathematical modeling of the relationship of the main groups of food safety factors according to the Doctrine of Food Security of the Russian Federation No. 120 of January 30, 2010 are considered. Mathematical modeling takes into account the mutual influence of seven main groups of food safety factors (production, consumption, import, ecological infrastructure, etc.), using the mathematical apparatus fuzzy cognitive maps. Numerical modeling and comparison of the dynamics of changes in various indicators by the nature of the calculated curves are carried out. Conducted cognitive analysis allowed us to study the internal laws of the analyzed system and identify trends in their evolution. The applied side of the study is the implementation of the obtained cognitive model on a computer in the environment of MathCad v.14 using the built-in matrix functions of this mathematical package of computer modeling, including comparative visualization tools. The proposed application of a fuzzy cognitive approach using impulse matrix modeling of the dynamics of the studied indicators provides a solution to the problem of forecasting the normalized integrated indicator of food security within the framework of a systematic approach and can be used to adjust agricultural production programs in the context of import substitution.

Ключевые слова: прогнозирование сельскохозяйственного производства, продовольственная безопасность, математическое моделирование, нечеткие когнитивные модели, когнитивные карты.

Key words: agricultural production forecasting, food security, mathematical modeling, fuzzy cognitive model, cognitive map.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ по проекту 19-07-01132 «Создание интеллектуальной системы для оценки и прогнозирования продовольственной безопасности в условиях импортозамещения на основе нечеткого когнитивного подхода»

Цитирование. Рогачев А. Ф. Мелихова Е. В., Руденко А. Ю. Оценка и прогнозирование сельскохозяйственного производства и продовольственной безопасности на основе нечетких когнитивных математических моделей. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 246-255. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-29.

Citation. Rogachev A. F. Melikhova E. V., Rudenko A. Ya. Assessment and forecasting of agricultural production and food security based on fuzzy cognitive mathematical models. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4 (56). 246-255 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-29.

Введение. Продовольственная безопасность (ПБ) / Food Security (FS) Российской Федерации является одной из центральных задач в системе национальной безопасности, поскольку без надежного снабжения продовольствием невозможно избе-

жать зависимости от других государств. Продовольственную безопасность в основном характеризуют 4 ведущих сферы: производство, потребление, запасы и импорт, каждая из которых характеризуется десятками частных показателей.

Проблема математического моделирования ПБ обусловлена значительным количеством факторов, сложностью их формализации и неполнотой информации, релевантно характеризующей социально-экономические процессы в таких сложных системах [В. А. Камаев, 2013; Г. В. Горелова, 2017; А. А. Марковский, 2007, Ф. С. Робертс, 1986]. Одним из перспективных подходов к анализу слабо структурированных проблемных областей, сформировавшимся в последние десятилетия, является когнитивный анализ, основанный на построении *когнитивной карты, представляющей собой взвешенный ориентированный граф* (А. В. Марковский, 2009; Г. В. Горелова, 2017 и др.). Вершины v_i этого графа характеризуют существенные *факторы или концепты*. Ребра ориентированного графа определяют каузальные связи между факторами анализируемых социально-экономических систем (СЭС) обеспечения ПБ. Различные сочетания структур – вершин, ребер и их весов, а также различные виды функций, описывающих влияние учитываемых связей, приводят к получению семейств моделей, требующих адекватных методов анализа и интерпретации. В описанных выше вариантах знакового графа возможности сравнения управленческих решений достаточно ограничены. Их можно сравнивать только по подмножеству G_i целевых факторов, на которые они оказывают требуемое влияние. При совпадении указанных подмножеств нет возможности сравнивать решения по силе влияния. Для знаковых графов эти трудности устраняет подход, развиваемый в работе [5]. Он сохраняет граф знаковым, но использует матричный импульсный анализ.

Кроме отмеченных групп факторов, авторы считают необходимым включение в анализ и дополнительных факторов, в частности сферы экологии, включая мелиоративное состояние земельных ресурсов, качество продуктов питания и др.

Материалы и методы. Развитием классического когнитивного подхода явился нечеткий когнитивный анализ [3, 5], основанный на использовании нечетких когнитивных карт (НKK), предложенных Б. Коско в конце 80-х годов прошлого столетия. В наиболее общем случае НKK представляет взвешенный ориентированный граф, в котором по аналогии со знаковым вершины представляют факторы, а ребра характеризуют причинно-следственные каузальные связи между факторами. При этом веса ребер могут быть либо числами, например из промежутка $[-1, 1]$, либо значениями, соответствующими некоторой лингвистической шкале, характеризующей степень влияния связей.

Анализ НKK реализуется с помощью методов нечеткой математики [4, 6, 7, 9]. Дальнейшим обобщением когнитивного анализа является структура когнитивной карты, управляемой нечеткими правилами (Rule Based FCM). В этой модели нечеткие продукционные правила являются утверждениями вида «Если – То». Условная компонента представляет собой выражение над лингвистическими значениями концептов и математическими отношениями между ними. Они могут иметь вид:

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_1 \ \& \ x_2 \text{ is } A_2 \ \text{ THEN } y \text{ is } B, \quad (1)$$

где x_1, x_2 – входные, а y – выходная переменная, A_1, A_2, B – лингвистические значения (нечеткие). При этом каждому фактору сопоставляется база нечетких правил (БНП), состоящая из всех продукций, имеющих в заключении данный фактор.

Импульсное моделирование исследуемой системы осуществляется по зависимости:

$$x(t) = (I + A + A^2 + \dots + A^t)x(0), \quad (2)$$

где $A = \|a_{ij}\|$ – матрица смежности размерности $n \times n$, t – номер временного моделирующего импульса.

Признаком неустойчивости матрицы смежности A , при котором временные процессы для некоторых факторов будут расходящимися, является превышение модулей собственных значений её элементов величины 1. В этом случае в монографии [5] рекомендуется преобразование исходной матрицы A в устойчивую с помощью умножения элементов каждой строки матрицы A на множитель:

$$Nn = 1/(s_i + \varepsilon), \quad (3)$$

где s_i - число ненулевых элементов i -го столбца (строки); ε - малое число.

Результаты и обсуждение. Задача управления моделируемой системой в когнитивных картах может формулироваться следующим образом. Среди факторов, существенно влияющих на развитие моделируемой системы, выделяются управляющие и управляемые, изменение которых является непосредственно целью управления. Управляющее решение определяет выбор некоторого подмножества управляющих факторов, определяя стратегию управления.

Проанализированные методические подходы были использованы при построении нечеткой когнитивной карты для оценки и прогнозирования уровня ПБ, характеризующиеся ограниченными количествами основных факторов [6, 9], концептуальная модель которой представлена на рисунке 1.

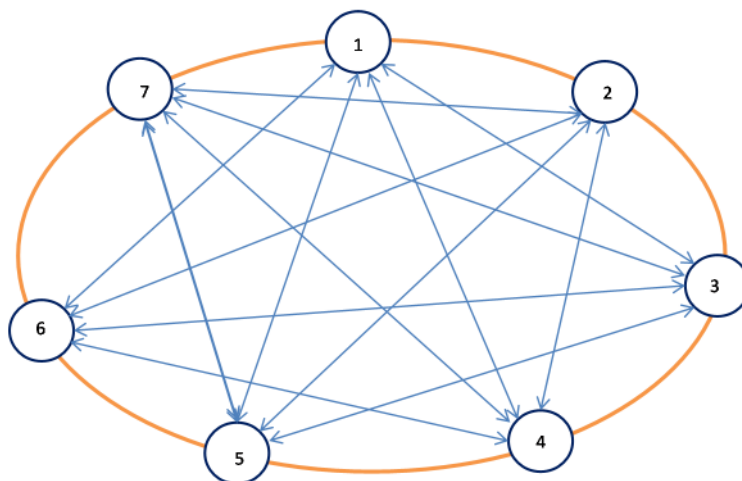


Рисунок 1 – Концептуальная модель взаимного влияния основных групп факторов системы обеспечения ПБ:

1 – экономическая инфраструктура (f1); 2 – запасы продовольственных продуктов (f2); 3 – экология (f3); 4 – импорт (f4); 5 – потребление (f5); 6 – производство (f6); 7 – интегральный уровень продовольственной безопасности (f7)

Figure 1 – Conceptual model of mutual influence of the main groups of factors PB assurance systems:

1 – economic infrastructure (f1); 2 – food stocks (f2); 3 – ecology (f3); 4 – import (f4); 5 – consumption (f5); 6 – production (f6); 7 – integral level of food security (f7)

Поскольку матрица смежности A в (2) может оказаться слабо заполненной и содержать строки только с единственным ненулевым элементом, то после ее нормализации умножением на множители вида $1/s_i$ (3), норма модифицированной матрицы A_m может равняться 1. Это не гарантирует сходимости некоторых процессов, определяемых уравнениями вида (3). Для сходимости всех переменных и добавляют малое число $\varepsilon > 0$ в сомножители (3).

Один из возможных подходов к формализации субъективных неопределенностей в многокритериальных задачах был разработан Е. С. Харрингтоном в 1963 году. Им было предложено для описания частных критериев использование функций принадлежности (ФП), принимающих непрерывно возрастающие значения в промежутке $0 \dots 1$. В частности, ФЖ может задаваться уравнением (3) (В. В. Губарев, 2002):

$$\mu(x) = 1 - \exp(-x) \quad (4)$$

По концептуальной модели была построена детализированная НКК, фрагмент которой представлен на рисунке 2.

Для импульсного моделирования саморазвития системы используется следующий алгоритм. Эксперт задает в лингвистических значениях, преобразуемых в числовые по зависимости (3), начальное и последующее состояние ситуации $Y(0)$ и $Y(1)$, по которым вычисляется начальное (числовое) приращение $P(0) = \{Y(1) - Y(0)\} = X(1) - X(0)$. Последующие вычисления являются числовыми: вычисляются приращения в последовательные моменты $t = 1, \dots, n$, а состояние ситуации определяется из соотношения:

$$X(t+1) = X(t) + P(t+1). \quad (5)$$

В качестве моделируемого объекта была принята обоснованная ранее структура оценки уровня ПБ [5], учитывающая основные укрупненные группы факторов.

Полученная структура реализовывалась когнитивной картой, фрагмент которой, для моделирования уровня продовольственной безопасности на примере Волгоградской области, представлен на рисунке 4. Категория «экология прочие» предполагается заместить набором показателей, уточняемых в процессе выполнения проекта.

$$A0 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{identity}(7)$$

$$\text{eigenvals}(A0) = \begin{pmatrix} 3.167 \\ 1.403 \\ -1.711 + 0.292i \\ -1.711 - 0.292i \\ -0.286 + 1.042i \\ -0.286 - 1.042i \\ -0.576 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2 – Знаковая матрица смежности и единичная матрица разрабатываемой НКК в среде MathCad (фрагмент)

Figure 2 – Sign adjacency matrix and unit matrix of the developed NCC in MathCad environment (fragment)

Когнитивная модель обеспечивает проведение сценарного анализа саморазвития моделируемой системы при изменении ее параметров в широком диапазоне. В процессе нечеткого когнитивного моделирования в среде MathCad v.14 строилась когнитивная карта, знаковая матрица смежности и оператор вычисления вектора собственных значений которой представлены на рисунке 3.

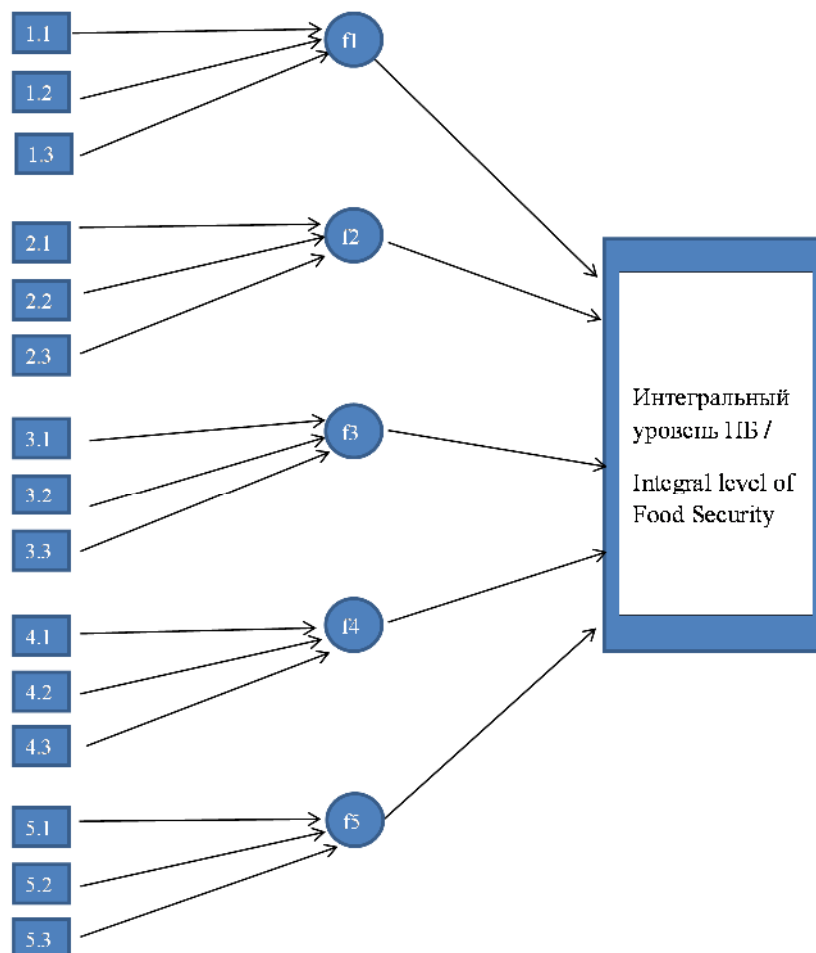


Рисунок 3 – Фрагмент НКК оценки интегрального уровня ПБ

Figure 3 – Fragment of the NCC evaluation of the integral level of PB

На рисунке 2 изображены укрупненные группы факторов $f1 \dots f5$, а также формирующие их частные показатели, например для экологической группы $f3$: 3.1 – качество и безопасность продукции, 3.2 – плодородие почв, 3.3 – прочие экологические показатели (загрязненность воды, воздуха и др.).

Использование встроенной в MathCad v.14 функции вычисления вектора собственных значений позволяет наглядно оценить необходимость нормализации матрицы смежности A для обеспечения ее сходимости в процессе моделирования. Вектор собственных значений на рисунке 3 показывает необходимость нормализации матрицы смежности A_0 , поскольку практически все его элементы, как действительные, так и комплексные, по модулю превосходят единицу.

Численная реализация импульсного моделирования системы, структура которой была описана концептуальной моделью когнитивной карты (рисунок 1), представлена на рисунке 4. Анализ динамики показателей позволяет укрупненно выявить основные тенденции развития моделируемой СЭС обеспечения ПБ.

Показатели $f1 \dots f3$, $f5 \dots f7$ (рисунки 1 и 4) монотонно возрастают при плавном снижении темпа роста, при этом график фактора-индикатора $f7$ (интегральный уровень ПБ) демонстрирует S-образный характер возрастания с точкой перегиба на втором импульсном промежутке. Монотонное снижение величины показателя $f4$ (уровень экспорта продуктов питания) с достижением отрицательных значений прогнозирует его тенденцию к существенному сокращению в пределах исследуемой инфраструктурной ситуации и возможности экспорта продукции, что согласуется с политикой импортозамещения.

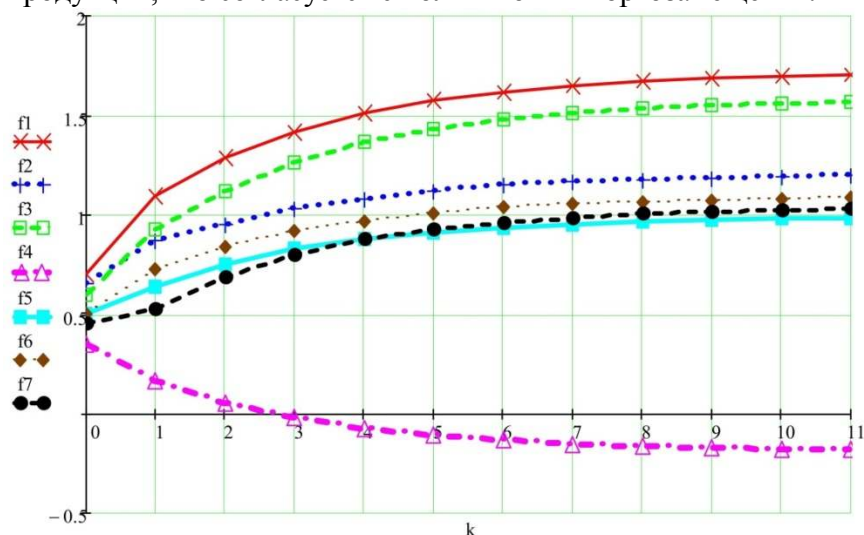


Рисунок 4 – Динамика изменения показателей системы ПБ согласно 7-ми факторной когнитивной модели

Figure 4 – Dynamics of changes in the indicators of the PB system according to the 7-factor cognitive model

Результаты проведенного численного исследования полученной когнитивной модели можно использовать при сценарном анализе выбора стратегии развития регионального аграрного производства.

Заключение. Анализ результатов проведенного когнитивного моделирования, применительно к проблеме оценки уровня и прогнозирования динамики ПБ, позволил сформулировать следующие выводы и выявить основные проблемы, требующие дальнейшего исследования.

1. Преимуществом математического аппарата импульсного когнитивного моделирования является системная возможность прогнозирования тенденции развития исследуемых систем и результатов принимаемых управленческих решений, а также выявление неочевидных последствий, которые трудно прогнозировать экспертно при значительном числе факторов.

2. Результаты анализа, получаемые преимущественно в терминах лингвистических шкал, достаточно приближены вследствие нечеткого характера используемых шкал и отражают лишь основные тенденции развития моделируемых СЭС. Прогнозы могут оказаться ненадежными, в частности при близости положительных и отрицательных взаимовлияний, индикатором чего могут быть малые значения вычисляемых консонансов.

3. Полученные результаты позволяют обосновать комплекс мероприятий по разработке и осуществлению социально-политических, организационно-экономических и технико-технологических мер по реализации государственной политики обеспечения продовольственной и экологической безопасности региона.

Библиографический список

1. Гинис Л. А., Колоденкова А. Е. Нечеткое когнитивное моделирование для предупреждения рискованных ситуаций на объектах критических инфраструктур // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2017. Т. 21. № 4 (78). С. 113-120.
2. Горелова Г. В., Лябах Н. Н. Когнитивный анализ: проблемы применения и развития // Новые технологии. 2016. № 4. С. 16-21.
3. Иванов П. В., Костылев В. И. Когнитивные технологии моделирования системы орошаемого земледелия региона // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 78. С. 359-368.
4. Моделирование сценарного развития сельских территорий на основе нечеткой когнитивной модели / С. В. Подгорская, А. Г. Подвесовский, Р. А. Исаев, А. С. Тарасов, Г. А. Бахматова // Проблемы управления. 2019. № 5. С. 49-59.
5. Применение кластерного анализа для оценки социально-экономического развития городов федерального округа (на примере Южного федерального округа) / А. П. Дарманиян, М. В. Филиппов, А. Ю. Руденко, А. В. Шохнех // Бизнес. Образование. Право. 2017. № 4 (41). С. 28-32.
6. Рогачёв А. Ф. Математическое моделирование экономической динамики в аграрном производстве. Волгоград, Волгоградский государственный аграрный университет, 2014. 172 с.
7. Рогачев А. Ф., Шохнех А. В. Генезис математических моделей эконофизики как путь к продовольственной безопасности // Аудит и финансовый анализ. 2015. № 1. С. 410-413.
8. Evaluating the sustainability of Volgograd WIT Transactions on Ecology and the Environment / N. Sadovnikova, D. Parygin, N. Gidkova, E. Gnedkova, B. Sanzhapov. 2014. V. 179. Volume 1. P. 279-290.
9. Ginis L. A. The use of fuzzy cognitive maps for the analysis of structure of social and economic system for the purpose of its sustainable development // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. V. 6. № 3. P. 113-118.
10. Gorelova G., Pankratova N. Strategy of complex systems development based on the synthesis of foresight and cognitive modelling methodologies // 2018 IEEE 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing, SAIC 2018 - Proceedings 1. 2018. 8516884
11. Rogachev A. Economic and Mathematical Modeling of Food Security Level in View of Import Substitution // Asian Social Science Vol. 11, No. 20, 2015. P. 178-185.
12. Rogachev A. F., Mazaeva T. I., Shokhnekh A. V. Manufacturing and consumption of agricultural products as a tool of food security management in Russia // Revista Galega de Economia. 2016. V. 25. № 2. P. 87-94.
13. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Shokhnekh A. V. Monitoring and economic & mathematical modeling of manufacture and consumption of agricultural products as a tool of food security management // Espacios. 2018. V. 39. № 1. P. 1.
14. Rogachev A. F., Mizyakina O. B., Fedorova Y. V. Modelling of monotowns development by means of cognitive maps // Actual Problems of Economics. 2016. № 9. P. 409-416.
15. Rogachev A. F. Problem formulation of cognitive modeling of industrial investment development of medium-sized and single-industry cities // Espacios. 2017. V. 38. № 49. P. 11.
16. Scenario forecasting of sustainable urban development based on cognitive model / N. Sadovnikova, D. Parygin, E. Gnedkova, A. Kravets, A. Kizim, S. Ukustov // Proceedings of the IADIS International Conference ICT, Society and Human Beings 2013, Proceedings of the IADIS International Conference e-Commerce 2013, P. 115—119.
17. Semenova E. On some types of cognitive modeling // Arctic dialogue in the global world. The Proceedings of Joint Science and Education Conference. 2015. P. 237-238.
18. Thibeault I. V., Prichina O. S., Gorelova G. V. Cognitive Russian modeling in the system of corporate governance // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. № 6 (2), P. 442-452.
19. Using of fuzzy cognitive modeling in information security systems constructing / M. Kulyk, V. Kozlovskiy, A. Mischenko, Y. Khlaponin, V. Khoma, K. Janisz, P. Falat // Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2015 8, Technology and Applications. 2015. P. 408-411.

Reference

1. Ginis L. A., Kolodenkova A. E. Nechetkoe kognitivnoe modelirovanie dlya preduprezhdeniya riskovykh situacij na ob'ektah kriticheskikh infrastruktur // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehničeskogo universiteta. 2017. T. 21. № 4 (78). P. 113-120.
2. Gorelova G. V., Lyabah N. N. Kognitivnyj analiz: problemy primeneniya i raz-vitiya // No-vye tehnologii. 2016. № 4. P. 16-21.
3. Ivanov P. V., Kostylev V. I. Kognitivnye tehnologii modelirovaniya sistemy oroshaemogo zemledeliya regiona // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 78. P. 359-368.
4. Modelirovanie scenarnogo razvitiya sel'skikh territorij na osnove nechetkoj kognitivnoj modeli / S. V. Podgorskaya, A. G. Podvesovskij, R. A. Isaev, A. S. Tarasov, G. A. Bahmatova // Problemy upravleniya. 2019. № 5. P. 49-59.
5. Primenenie klasternogo analiza dlya ocenki social'no-jekonomicheskogo razvitiya gorodov federal'nogo okruga (na primere Yuzhnogo federal'nogo okruga) / A. P. Darmanyam, M. V. Filippov, A. Yu. Rudenko, A. V. Shohneh // Biznes. Obrazovanie. Pravo. 2017. № 4 (41). P. 28-32.
6. Rogachjov A. F. Matematicheskoe modelirovanie jekonomicheskoy dinamiki v agrarnom proizvodstve. Volgograd, Volgogradskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2014. 172 p.
7. Rogachev A. F., Shohneh A. V. Genezis matematicheskikh modelej jekonofiziki kak put' k prodovol'stvennoj bezopasnosti // Audit i finansovyj analiz. 2015. № 1. P. 410-413.
8. Evaluating the sustainability of Volgograd WIT Transactions on Ecology and the Environment / N. Sadovnikova, D. Parygin, N. Gidkova, E. Gnedkova, B. Sanzhapov. 2014. V. 179. Volume 1. P. 279-290.
9. Ginis L. A. The use of fuzzy cognitive maps for the analysis of structure of social and economic system for the purpose of its sustainable development // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. V. 6. № 3. P. 113-118.
10. Gorelova G., Pankratova N. Strategy of complex systems development based on the synthesis of foresight and cognitive modelling methodologies // 2018 IEEE 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing, SAIC 2018 - Proceedings 1. 2018. 8516884
11. Rogachev A. Economic and Mathematical Modeling of Food Security Level in View of Import Substitution // Asian Social Science Vol. 11, No. 20, 2015. P. 178-185.
12. Rogachev A. F., Mazaeva T. I., Shokhnekh A. V. Manufacturing and consumption of agricultural products as a tool of food security management in Russia // Revista Galega de Economia. 2016. V. 25. № 2. P. 87-94.
13. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Shokhnekh A. V. Monitoring and economic & mathematical modeling of manufacture and consumption of agricultural products as a tool of food security management // Espacios. 2018. V. 39. № 1. P. 1.
14. Rogachev A. F., Mizyakina O. B., Fedorova Y. V. Modelling of monotowns development by means of cognitive maps // Actual Problems of Economics. 2016. № 9. P. 409-416.
15. Rogachev A. F. Problem formulation of cognitive modeling of industrial investment development of medium-sized and single-industry cities // Espacios. 2017. V. 38. № 49. P. 11.
16. Scenario forecasting of sustainable urban development based on cognitive model / N. Sadovnikova, D. Parygin, E. Gnedkova, A. Kravets, A. Kizim, S. Ukustov // Proceedings of the IADIS International Conference ICT, Society and Human Beings 2013, Proceedings of the IADIS International Conference e-Commerce 2013, P. 115—119.
17. Semenova E. On some types of cognitive modeling // Arctic dialogue in the global world. The Proceedings of Joint Science and Education Conference. 2015. P. 237-238.
18. Thibeault I. V., Prichina O. S., Gorelova G. V. Cognitive Russian modeling in the system of corporate governance // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. № 6 (2), P. 442-452.
19. Using of fuzzy cognitive modeling in information security systems constructing / M. Kulyk, V. Kozlovskiy, A. Mischenko, Y. Khlaponin, V. Khoma, K. Janisz, P. Falat // Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2015 8, Technology and Applications. 2015. P. 408-411.

Информация об авторах

Рогачев Алексей Фруминович, зав. кафедрой «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор технических наук, профессор <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Мелихова Елена Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), <https://orcid.org/0000-0002-4041-4270>, melv07@mail.ru

Руденко Андрей Юрьевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), <https://orcid.org/0000-0003-4955-6942>, rudenkovgsxa@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 681.121.1

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-30

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ
ПОРШНЕВОГО РАСХОДОМЕРА ТОПЛИВА**

IMPROVING THE DESIGN OF THE PISTON FUEL FLOW-METERS

А. И. Ряднов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

О. А. Федорова¹, доктор технических наук, доцент

А. В. Федоров², студент

A. I. Ryadnov, O. A. Fedorova, A. V. Fedorov

¹Волгоградский государственный аграрный университет,

²Волгоградский государственный технический университет

¹Volgograd State Agrarian University,

²Volgograd State Technical University

Дата поступления в редакцию 10.09.2019

Дата принятия к печати 17.12.2019

Received 10.09.2019

Submitted 17.12.2019

На основе анализа научных работ по особенностям существующих конструкций расходомеров жидкостей определены основные требования к разрабатываемым конструкциям поршневых расходомеров топлива: обеспечивать высокую точность измерения расхода топлива; иметь высокие метрологические характеристики во всем диапазоне расхода топлива двигателем; иметь высокую надежность конструкции в широком диапазоне условий эксплуатации двигателей; быть технологичным в обслуживании и компактным. Цель настоящей работы – предложить конструкцию поршневого расходомера топлива, удовлетворяющую предъявляемым к ней требованиям. Предложена конструкция поршневого расходомера, позиционирование поршня которого осуществлено при помощи емкостных датчиков положения, сигнал с которых воспринимается электронным блоком управления. Привод клапанов управления потоками топлива осуществляется электромагнитами. В расходомере применены четыре электромагнитных клапана, работающих по «диагональной» схеме. Поршень закреплен в измерительном цилиндре посредством двух мембран, изготовленных из прочного эластичного материала. Установка двух мембран обеспечивает перемещение поршня по оси измерительного цилиндра, без перекосов. Конструкция расходомера позволяет приближать обкладки конденсатора друг к другу на расстояние, при котором суммарная емкость датчика положения поршня гарантирует выработку сигнала, достаточного для срабатывания электромагнитного клапана, за счет выбора соотношения наружного диаметра центрального элемента поршня и внутреннего диаметра измерительного цилиндра, а также необходимой эластичностью материала мембраны. Расходомер устанавливается, например, в топливную систему дизельного двигателя между фильтром грубой очистки топлива и топливоподкачивающим насосом. Экспериментальные исследования предлагаемого поршневого расходомера показали, что все требования, предъявляемые к кон-

струкции расходомера, выполняются в полном объеме. Предлагаемый расходомер топлива по сравнению с известными решениями позволяет повысить точность измерения расхода топлива на всех режимах работы двигателя внутреннего сгорания за счет исключения перетекания топлива из измерительной камеры измерительного цилиндра с большим давлением жидкости в измерительную камеру с меньшим давлением.

Based on the analysis of scientific works on the features of existing designs of liquid flow meters, the basic requirements for the developed designs of piston fuel flow meters are determined: to ensure high accuracy in measuring fuel consumption; have high metrological characteristics in the entire range of fuel consumption by the engine; have a high reliability design in a wide range of engine operating conditions; to be technologically logical in service and compact. The aim of this work is to propose the design of a piston fuel flow meter that meets the requirements for it. A design of a piston flow meter is proposed, the piston positioning of which is carried out using capacitive position sensors, the signal from which is sensed by the electronic control unit. The fuel flow control valves are driven by electromagnets. The meter uses four solenoid valves operating in a «diagonal» pattern. The piston is fixed in the measuring cylinder by two membranes made of durable elastic material. The installation of two membranes allows the piston to move along the axis of the measuring cylinder, without distortions. The flowmeter design allows you to bring the capacitor plates closer to each other at a distance at which the total capacity of the piston position sensor guarantees the generation of a signal sufficient for the electromagnetic valve to operate, by choosing the ratio of the outer diameter of the central element of the piston and the inner diameter of the measuring cylinder, as well as the necessary elasticity of the membrane material. The flow meter is installed, for example, in the fuel system of a diesel engine between the coarse fuel filter and the fuel priming pump. Experimental studies of the proposed piston flowmeter showed that all the requirements for the design of the flowmeter are fully implemented. The proposed fuel flow meter in comparison with the known solutions allows increasing the accuracy of measuring fuel consumption at all operating modes of the internal combustion engine by eliminating the flow of fuel from the measuring chamber of the measuring cylinder with high liquid pressure into the measuring chamber with lower pressure.

Ключевые слова: поршневые расходомеры, топливо двигателей внутреннего сгорания, конструкции расходомеров, особенности работы расходомеров.

Key words: piston flowmeter, fuel of internal combustion engines, design of flowmeters and features of their operation.

Цитирование. Ряднов А. И., Федорова О. А., Федоров А. В. Совершенствование конструкции поршневого расходомера топлива. Известия НВ АУК. 2019. 4(56). 255-262. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-30.

Citation. Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Fedorov A. V. Improving the design of the piston fuel flowmeters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 255-262. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-30.

Введение. В настоящее время увеличивается энергонасыщенность тракторов, автомобилей, комбайнов и другой подвижной техники, двигатели которых работают на бензине, дизельном топливе или биотопливе. Одновременно с этим растут цены на энергоносители. Но использование подвижного состава должно быть высокоэффективным [1, 5]. В связи с этим как для крупных, так и для мелких промышленных и сельскохозяйственных предприятий актуален вопрос экономии топлива. Однако экономить топливо невозможно без учета его расхода отдельными машинами. Для этого необходимо использовать расходомеры топлива [3, 5, 7].

Одной из особенностей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) тракторов и автомобилей является неравномерный расход топлива. В связи с этим необходимо использовать расходомеры топлива, учитывающие указанную особенность ДВС.

Существующие расходомеры основаны на косвенных и прямых способах измерения расхода топлива. От принятого способа измерения расхода топлива зависит точность его контроля. Как показал обзор научных исследований, применение косвенных способов

затруднено по ряду объективных причин, связанных, прежде всего, с существенным разбросом плотности и вязкости топлива в зависимости от температуры, наличием воды в топливе. Прямые способы подразумевают подачу нефтепродукта к объекту потребления через мерный цилиндр [3, 9] и измерение продолжительности его опорожнения.

Разработано достаточно много конструкций расходомеров, среди которых: прямоточный [3], расходомер, функционирующий на основе лазерного доплеровского анемометра [12], ультразвуковой, позволяющий измерять массовый расход топлива [13], калориметрический с повышенной точностью измерения расхода топлива за счет регулирования температуры топлива в трубках прямого и обратного потоков [10], магнитный [11] и другие. Многие конструкции расходомеров обеспечивают измерение расхода топлива в широком диапазоне. Так, фирмой Corrsys-Datron (Германия) предложен поршневой расходомер Corrsys-Datron DFL3x, позволяющий измерять расход топлива до 250 л/ч. Авторы работы [6] провели исследования данного поршневого расходомера на автомобиле «Газель NEXT». Результаты этих исследований показали, что прилагаемая производителем программа настройки цифровых каналов не доработана. Причем настройка расходомера может выполняться только вручную и требует высокой квалификации обслуживающего персонала.

На основе анализа научных работ можно все расходомеры топлива разделить на две большие группы: механические и электрические. К группе механических расходомеров относятся объемные расходомеры: ковшовые, лопастные, поршневые, шестеренчатые, мерные устройства различной конструкции, а также скоростные, например турбинные. К группе электрических расходомеров относятся магнитно-индукционные, ультразвуковые и емкостные.

Для измерения расхода топлива ДВС чаще всего применяются поршневые расходомеры, обладающие по сравнению с другими типами наибольшей точностью [7]. Основной недостаток первых образцов поршневых расходомеров, выпускаемых промышленными предприятиями – низкая точность измерения расхода топлива из-за короткого промежутка времени единичного перемещения поршня, а также из-за частых случаев перемещения поршня на неполный ход. Для устранения указанных причин необходимо использовать сложную систему интерполяции продолжительности неполных ходов поршня [2]. В работах [5, 7, 8] предложены способы прямого измерения расхода топлива. В этом случае объем топлива определяется числом циклов «заполнение-опорожнение» мерного цилиндра.

На основе анализа научных работ, а также опыта производственного использования поршневых расходомеров установлено, что точность измерения расхода топлива во многом определяется величиной зазора в сопряжении «гильза – поршень», так как при наличии зазора в данном сопряжении может наблюдаться перетекание жидкости по зазорам из одной полости расходомера в другую. Для исключения перетекания топлива из одной полости измерительного цилиндра в другую предлагалось вместо поршня использовать мембрану. Однако из-за существенного прогиба мембраны нарушалась стабильность процесса заполнения камер расходомера топливом.

На основе анализа научных работ по особенностям существующих конструкций расходомеров жидкостей определены основные требования к разрабатываемым конструкциям поршневых расходомеров топлива.

Поршневой расходомер новой конструкции должен:

- обеспечивать высокую точность измерения расхода топлива за счет исключения перетекания топлива из одной мерной камеры в другую путем использования одной или нескольких мембран, разделяющих измерительные камеры;
- иметь высокие метрологические характеристики во всем диапазоне расхода топлива ДВС;

- иметь высокую надежность конструкции в широком диапазоне условий эксплуатации ДВС за счет применения современных конструкционных материалов, в том числе, использования для изготовления мембраны высокопрочного эластичного материала;
- быть технологичным в обслуживании и компактным.

На основе анализа научных исследований определена цель работы – предложить конструкцию поршневого расходомера топлива, удовлетворяющей предъявляемым к ней требованиям.

Материалы и методы. В статье использованы материалы научных статей и описания изобретений по устройству и исследованиям расходомеров жидкостей, в том числе и жидких топлив для ДВС. Особое внимание уделено конструкциям поршневых расходомеров.

Методика проводимых исследований основана на применении положений современной методологии научных исследований.

Результаты и обсуждение. С учетом представленных выше требований была разработана новая конструкция поршневого расходомера [8].

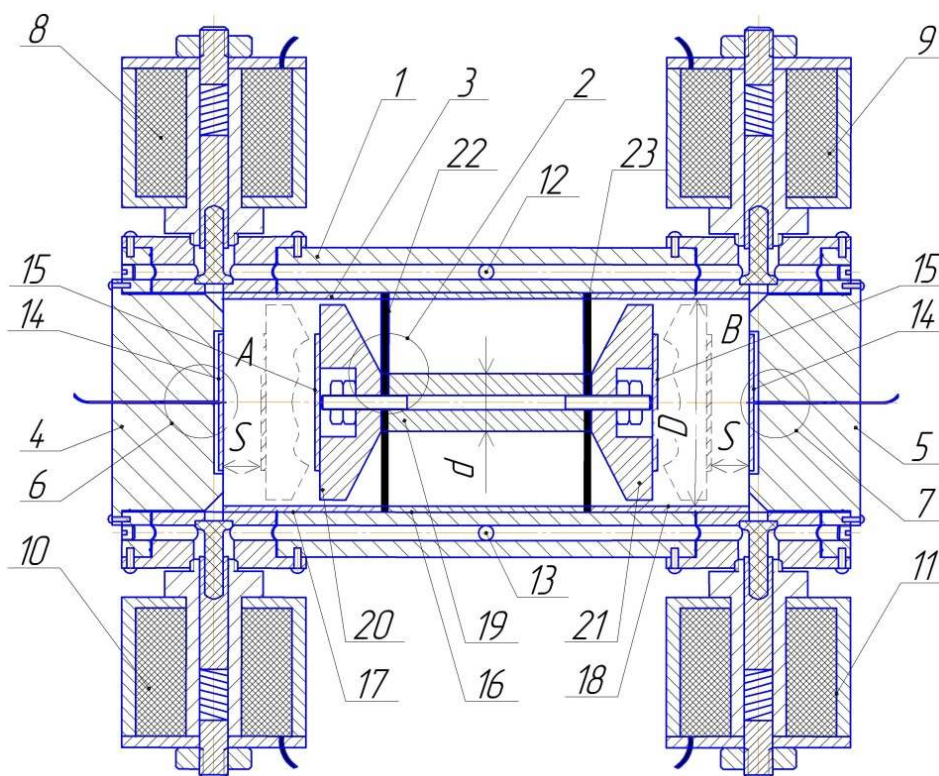


Рисунок 1 – Схема расходомера топлива:

- 1 – корпус; 2 – поршень; 3 – измерительный цилиндр; 4 и 5 – крышки;
- 6 и 7 – емкостные датчики; 8, 9, 10 и 11 – электромагнитные клапаны;
- 12 – подводящий штуцер; 13 – отводящий штуцер; 14 и 15 – металлические обкладки конденсатора; 16 – центральный элемент измерительного цилиндра;
- 17 и 18 – крайние элементы измерительного цилиндра; 19 – центральный элемент поршня;
- 20 и 21 – крайние элементы поршня; 22 и 23 – мембраны

Figure 1 – Diagram of the fuel flow meter:

- 1 – body; 2 – piston; 3 – measuring cylinder; 4 and 5 – caps;
- 6 and 7 – capacitive sensors; 8, 9, 10 and 11 – solenoid valves; 12 – inlet fitting; 13 – outlet fitting; 14 and 15 – metal capacitor plates;
- 16 – Central element of the measuring cylinder; 17 and 18 – extreme elements of the measuring cylinder; 19 – the Central element of the piston; 20 and 21 – extreme elements of the piston;
- 22 and 23 – membranes



Рисунок 2 – Расходомер топлива / Figure 2-fuel flow Meter

В данном расходомере позиционирование поршня 2 осуществлено при помощи емкостных датчиков положения 6 и 7, сигнал с которых воспринимается электронным блоком управления. Каждый из двух емкостных датчиков положения 6 и 7 поршня 2 имеет одну металлическую обкладку 14, 15 конденсатора, а второй обкладкой таких датчиков служит торец крайней части поршня 2. При приближении поршня 2 к емкостному датчику 6 или 7 наблюдается скачкообразное увеличение емкости конденсатора, что воспринимается электронной системой управления клапанами 8, 9, 10 и 11.

Привод клапанов управления 8, 9, 10 и 11 потоками топлива осуществлен посредством электромагнитов, получающих питание от бортовой сети энергетического средства через электронный блок управления. В предлагаемом расходомере применены четыре электромагнитных клапана 8, 9, 10 и 11, работающих по «диагональной» схеме, осуществляющих распределение потоков жидкости между мерными полостями *A* и *B* измерительного цилиндра 3.

Расходомер устанавливается, например, на двигателе Д-245, между топливоподкачивающим насосом и фильтром грубой очистки топлива. Электронный блок контроля и управления и электромагнитные клапаны (8, 9, 10 и 11) подключаются к бортовой сети, например, трактора. Установка двух мембран 22 и 23 обеспечивает перемещение поршня 2 по оси измерительного цилиндра 3, без перекосов.

Расходомер работает следующим образом. При работе двигателя топливоподкачивающий насос (на рисунке не показан) подает топливо по топливной системе. Одновременно с этим электронный блок контроля и управления (не показан) подает напряжение на два электромагнитных клапана, включенных по диагональной схеме, например, 8 и 11. Топливо из подводящей магистрали 12 через открытый электромагнитный клапан 8 поступает в измерительную камеру «А». При этом мембраны 22, 23 выгибаются и перемещают поршень 2 в направлении измерительной камеры «В». Топливо, находящееся в измерительной камере «В», поступает в отводящую магистраль 13 через открытый электромагнитный клапан 11 и далее направляется в топливоподкачивающий насос (не показан). Поршень 2, дойдя на расстояние *S* до емкостного датчика 7, изменяет суммарную емкость датчика 7. Это изменение емкости датчика воспринимается электронным блоком контроля и управления как сигнал для реверсирования направления потока топлива и окончания единичного измерительного цикла. Электромагнитные клапаны 8 и 11 отключаются и под действием возвратной пружины запирают топливные каналы. Питание подается на другую пару электромагнитных клапанов (9 и 10). В измерительную камеру «В» начинает поступать топливо, а измерительная камера «А» начинает опорожняться. Мембраны выгибаются, и поршень начинает движение в сторону измерительной камеры «А». Рабочий цикл расходомера повторяется. Блок контроля и управления суммирует число единичных ходов поршня. Зная число единичных ходов поршня и объем измерительной камеры, определяется расход топлива.

Точность контроля расхода топлива разработанным расходомером определялась на модернизированной топливной системе двигателя Д-243 трактора МТЗ-82.1 при выполнении сельскохозяйственных работ (сев и междурядная обработка подсолнечника) в 2017 – 2018 годы в ИП Березин Ю. И. Михайловского района Волгоградской области.

Модернизация топливной системы двигателя Д-243 состояла в том, что на трактор устанавливался дополнительный топливный бак, который подключался к топливной системе параллельно штатному топливному баку с помощью трехходового крана. Объем дополнительного топливного бака составлял 60 л. Расходомер оборудовали велокомпьютером AS-200, который подключали параллельно к счетчику импульсов расходомера.

До экспериментальных исследований заправляли топливные баки трактора и заливали в дополнительный топливный бак 50 л дизельного топлива с точностью до 25 мл. В начале выполнения сельскохозяйственной работы двигатель работал на дизельном топливе из штатного топливного бака. Затем с помощью трехходового крана перекрывалась подача топлива из штатного топливного бака с одновременным запуском топлива в топливную систему двигателя из дополнительного бака. Фиксировалось секундомером время начала работы двигателя на дизельном топливе из дополнительного топливного бака. После расхода топлива из дополнительного топливного бака на 50 – 75% глушили двигатель, фиксировали время окончания работы, замеряли остаток топлива в дополнительном топливном баке с точностью до 25 мл, рассчитывали фактический часовой расход топлива (условно-истинное значение объема израсходованного топлива), сравнивали с показаниями расходомера и оценивали погрешности измерения ε в процентах (как относительные погрешности). Погрешности измерения ε вычисляли в соответствии с ГОСТ Р 50193.3-92 (Измерение расхода воды в закрытых каналах. Счетчики холодной питьевой воды. Методы и средства испытаний) по формуле:

$$\varepsilon = \frac{V_{дб.} - V_{р.}}{V_{р.}} 100 \%,$$

где $V_{дб.}$ – условно-истинное значение объема расхода топлива, замеренного по расходу из дополнительного топливного бака, л; $V_{р.}$ – расход топлива по показаниям расходомера, л.

Результаты расчетов ε представлены на рисунке 3.

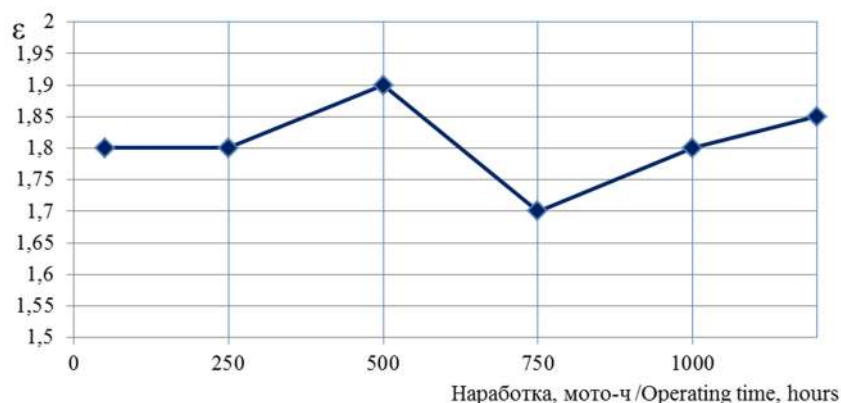


Рисунок 3 – График изменения точности контроля расхода топлива предложенным расходомером

Figure 3 – Graph of the accuracy of flow control fuel consumption by the proposed flowmeter

По результатам экспериментальных исследований установлено, что расход топлива по показаниям расходомера отличается от фактического не более, чем на 2%, отказов и неисправностей расходомера не зафиксировано. Кроме того, предложенная конструкция технологична в обслуживании. Все требования, предъявляемые к конструкции расходомера, выполняются в полном объеме.

Закключение. Таким образом, предлагаемый расходомер топлива по сравнению с известными позволяет повысить точность измерения расхода топлива на всех режимах работы двигателя внутреннего сгорания за счет исключения перетекания топлива из измерительной камеры измерительного цилиндра с большим давлением жидкости в измерительную камеру с меньшим давлением.

Библиографический список

1. Автоматическое управление режимами работы машинно-тракторных агрегатов / А. П. Савельев, С. В. Глотов, С. Б. Тимонин, В. С. Глотов // Сельский механизатор. 2015. № 12. С. 34-37.
2. Артамонов П. И., Ахметов Б. С., Свистунов Б. Л. Измеритель объемного расхода жидких продуктов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 1 (29). С. 60-65.
3. Артамонов П. И., Маликова Ф. У., Харитонов П. Т. Преобразователь перемещений поршня расходомера жидкости в унифицированный сигнал с емкостным датчиком, использующим принцип временной избыточности // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2013. № 1. С. 21-24.
4. Артамонов П. И., Свистунов Б. Л., Ахметов Б. А. Измеритель объемного расхода жидкости // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. 2013. № 12(16). С. 125-132.
5. Калачин С. В. Алгоритм управления режимами работы машинно-тракторного агрегата // Тракторы и сельхозмашины. 2019. №3. С. 45-50.
6. Огороднов С. М., Тихомиров А. Н., Шаров Д. В. Исследование расхода топлива легкового коммерческого автомобиля «Газель NEXT» экспериментальным методом // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2014. С. 131-139.
7. Палицын А. В. Применение поршневого расходомера для контроля эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов // Тракторы и сельхозмашины. 2015. №9. С. 49-51.
8. Поршневой расходомер: патент на изобретение № 2639732 Российская Федерация. МПК G01F 3/00 / Ряднов А. И., Федоров А. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. №2017100285; заявл. 09.01.2017; опубл. 22.12.2017. Бюл. №36.
9. Automation of direct measurement and control of volumetric flow / W. Wójcik, K. Gromaszek, B. Akhmetov, P. Kharitonov, F. Malikova, T. Kartbayev // Przegląd Elektrotechniczny. 2015. Vol. 91. № 11. P. 296-299.
10. Calorimetric flow meter of motor fuel with inlet temperature regulation / I. Korobiichuk, O. Bezvesilna, A. Ilchenko, M. Nowicki, R. Szewczyk // International Conference on Control, Decision and Information Technologies. 2017, January. P. 975-979.
11. Coble J., Tarver R., Wesley Hines J. Calorimetric Analysis to Infer Primary Circuit Flow in Integral and Pool-Type Reactors // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2017. Vol. 64(2). P. 837-843.
12. Measurements on Injection Rate by LDA Flow Rate Meter / K. Edure, S. Kikuchi, T. Koyama, H. Kawashima, Ishima T. // SAE Technical Papers. 2015, September.
13. Zhang X.-Z., Meng F.-Q., Song S.-K. The Ultrasonic Mass Flow Measurement Method of Light Fuel Based on the Artificial Neural Network Model // Jiliang Xuebao/Acta Metrologica Sinica. 2017. Vol. 38(2). P. 205-208.

Reference

1. Avtomaticheskoe upravlenie rezhimami raboty mashinno-traktornykh ag-regatov / A. P. Savell'ev, S. V. Glotov, S. B. Timonin, V. S. Glotov // Sel'skij meha-nizator. 2015. № 12. P. 34-37.
2. Artamonov P. I., Ahmetov B. S., Svistunov B. L. Izmeritel' ob'emnogo rasxoda zhidkih produktov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyaschego plyus. 2016. № 1 (29). P. 60-65.
3. Artamonov P. I., Malikova F. U., Haritonov P. T. Preobrazovatel' peremeschenij porshnya rasxodomera zhidkosti v unificirovannyj signal s emkostnym datchikom, ispol'zuyuschim princip vremennoj izbytochnosti // Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'. 2013. № 1. P. 21-24.
4. Artamonov P. I., Svistunov B. L., Ahmetov B. A. Izmeritel' ob'emnogo rasxoda zhidkosti // Nauchno-metodicheskij zhurnal XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyaschego. 2013. № 12(16). P. 125-132.
5. Kalachin S. V. Algoritm upravleniya rezhimami raboty mashinno-traktornogo agregata // Traktory i sel'hozmashiny. 2019. №3. P. 45-50.

6. Ogorodnov S. M., Tihomirov A. N., Sharov D. V. Issledovanie rasxoda topliva legkovogo kommercheskogo avtomobilya "Gazel' NEXT" Jeksperimental'nym metodom // Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva. 2014. P. 131-139.
7. Palicyn A. V. Primenenie porshneвого rasxodоmеrа dlya kontrolya jekspluatacionnyh parametrov mashinno-traktornyh agregatov // Traktory i sel'hozmashiny. 2015. №9. P. 49-51.
8. Porshnevoj rasxodomer: patent na izobretenie № 2639732 Rossijskaya Federaciya. MPK G01F 3/00 / Ryadnov A. I., Fedorov A. V.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Volgogradskij GAU. №2017100285; zayavl. 09.01.2017; opubl. 22.12.2017. Byul. №36.
9. Automation of direct measurement and control of volumetric flow / W. Wójcik, K. Gro-maszek, B. Akhmetov, P. Kharitonov, F. Malikova, T. Kartbayev // Przegląd Elektrotech-niczny. 2015. Vol. 91. № 11. P. 296-299.
10. Calorimetric flow meter of motor fuel with inlet temperature regulation / I. Korobiichuk, O. Bezvesilna, A. Ilchenko, M. Nowicki, R. Szewczyk // International Conference on Control, Deci-sion and Information Technologies. 2017, January. P. 975-979.
11. Coble J., Tarver R., Wesley Hines J. Calorimetric Analysis to Infer Primary Circuit Flow in In-tegral and Pool-Type Reactors // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2017. Vol. 64(2). P. 837-843.
12. Measurements on Injection Rate by LDA Flow Rate Meter / K. Edure, S. Kikuchi, T. Ko-yama, H. Kawashima, Ishima T. // SAE Technical Papers. 2015, September.
13. Zhang X.-Z., Meng F.-Q., Song S.-K. The Ultrasonic Mass Flow Measurement Method of Light Fuel Based on the Artificial Neural Network Model // Jiliang Xuebao/Acta Metrologica Sinica. 2017. Vol. 38(2). P. 205-208.

Информация об авторах

Ряднов Алексей Иванович, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Южный фе-деральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), Заслуженный ра-ботник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>. E-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Федорова Ольга Алексеевна, профессор кафедры «Технические системы в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), доктор технических наук, доцент,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2615-1101>. E-mail: foa_77@mail.ru

Федоров Алексей Валерьевич – студент 4 курса ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (400005, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>. E-mail: alex_fedorow_97@mail.ru.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 630*182.21

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-31

О ЛОГИСТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИКИ РОСТА ДЕРЕВА

ABOUT LOGISTIC APPROXIMATION OF DYNAMICS OF TREE GROWTH

А. Н. Салугин, доктор сельскохозяйственных наук

A. N. Salugin

ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного ле-соразведения Российской академии наук, г. Волгоград

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Research Centre of Agroecology, Amelioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences», Volgograd

Дата поступления в редакцию 13.08.2019
Received 13.08.2019

Дата принятия к печати 18.12.2019
Submitted 18.12.2019

Рассмотрены практические аспекты теоретических моделей роста биоценозов, в частно-сти деревьев, при интерпретации наблюдений за динамикой роста. Феноменологическая мо-дель роста для биомассы дает логистическую кривую. Вместе с тем исследователи лесных хо-

зйств, представители сельскохозяйственной, агролесомелиоративной науки связывают логистическую зависимость с динамикой изменения высоты деревьев, что не является правомерным. В данной работе делается попытка разъяснить положение вещей в этом вопросе. Учитывая ограниченные математические возможности исследователей-аграриев, мы приводим элементарные математические операции, связанные с моделированием роста деревьев в феноменологической постановке. В основном – это решение обыкновенного дифференциального уравнения с разделяющимися переменными. Решение в виде логистической кривой принадлежит биомассе дерева и используется при аппроксимации его динамики методом наименьших квадратов в регрессионной модели. Показано, что высота древостоя описывает динамику его развития опосредованно, в логарифмическом масштабе.

Practical aspects of the theoretical growth models of biocenoses, in particular trees, are considered in interpreting observations of growth dynamics. The phenomenological growth model for biomass provides a logistic curve. At the same time, forestry researchers, representatives of agricultural, agroforestry science associate logistic dependence with the dynamics of changes in the height of trees, which is not legitimate. In this paper, an attempt is made to clarify the state of things in this matter. Given the limited mathematical capabilities of agricultural researchers, we present elementary mathematical operations related to the modeling of tree growth in a phenomenological setting. Basically, this is a solution to an ordinary differential equation with separable variables. The solution in the form of a logistic curve belongs to the biomass of the tree and is used to approximate its dynamics by the least squares method in the regression model. It is shown that the height of the stand describes the dynamics of its development indirectly, on a logarithmic scale.

Ключевые слова: математические модели, обыкновенные дифференциальные уравнения, динамика роста дерева, биомасса, высота древесных насаждений, диаметр древесных насаждений, логистическая функция, аппроксимация.

Keywords: mathematical models, ordinary differential equations, tree growth dynamics, biomass, height and diameter of tree plantations, logistic function, approximation.

Цитирование. Салугин А. Н. О логистической аппроксимации динамики роста дерева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. 4 (56). 262-271. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-31.

Citation. Salugin A. N. About logistic approximation of dynamics of tree growth. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 262-271 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-31.

Введение. Трудно представить себе современную науку без применения математического моделирования, сущность которого состоит в том, что исходный объект заменяется его образом. Этот «образ» является математической моделью интересующих исследователя сторон реального объекта. Эта модель реализуется на компьютере с помощью вычислительных алгоритмов. Работа с объектом в виде модели дает возможность безболезненно и без существенных затрат изучать свойства и поведение изучаемого объекта в различных мыслимых ситуациях, которые встречаются на практике. Поэтому модели в агроэкологии являются в настоящее время одним из главных методов исследования, превращая её в точную науку. Обладая широкими информационными средствами в виде информационных ресурсов (таблицы, карты, космоснимки) агроэкология, тем не менее, нуждается в их анализе и прогнозе. Требуются надежные способы переработки информации в виде «сырья» в готовый продукт в виде точного знания. Одной из таких задач является аппроксимация временных рядов роста дерева на основе регрессии с использованием физически обоснованной модели.

Математическое моделирование в экологии началось с работ В. Вольтерра [9]. Его модели в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений были предназначены для исследования биологических сообществ, их устойчивости и равновесия.

Это были работы теоретического общего направления. Параллельно разрабатывались и эмпирические модели (на основе обработки данных наблюдений конкретных экосистем), для которых были получены интересные результаты количественных соотношений в процессах роста. Очертим важнейшие направления моделирования лесного биоценоза и роста деревьев.

К настоящему времени существует достаточно много моделей как динамики роста отдельного дерева [1, 6], так и лесного биогеоценоза в целом [5]. Разработан ряд теоретических моделей динамики роста отдельного дерева, в которых влияние внешней среды не учитывается. Так сделано в моделях [5, 7, 10-12]. Вместе с тем существует класс моделей, в которых эти факторы в некоторой степени учтены — например, в модели Росса [6]. Динамика общей биомассы отдельного растения в его работе выражается логистическим уравнением $dM/dt = K(A-M)M$, где M — биомасса, A — предельная величина биомассы. В работе [1] приведено другое уравнение роста растения: $dx/dt = a - bx^2$, где x — линейный размер растения. При построении этой модели полагалось, что растение при росте сохраняет свое геометрическое подобие (пропорцию размеров), а свободную энергию и активное вещество растение получает только посредством фотосинтеза при постоянной интенсивности света с поглощением питательных веществ в неограниченном количестве.

Экспериментальные наблюдения показывают, что динамика роста биомассы дерева во времени обычно имеет вид S-образной кривой логиста. Был проведен математический анализ значительного количества ростовых кривых такого типа, а техника определения параметров роста проиллюстрирована на примерах в работе Продана [7]. Очевидно, что аналитическая аппроксимация кривых такого типа может быть разной. В работе [10] приведено несколько возможных вариантов. Несмотря на то что эти модели достаточно точно описывают динамику роста «осредненного» дерева, при этом не учитываются воздействия окружающей среды. Очевидно, что эти модели носят феноменологический характер и по ним весьма затруднительно судить о биологических механизмах роста, поскольку в них не содержится моделей причинно-следственных цепочек, определяющих закономерности ростовых процессов.

Модель Росса [6] существенно отличается от приведенных моделей тем, что в ней динамика роста определена по органам растения и включен основной источник приращения массы — механизм фотосинтеза. По сути дела, модель Росса также носит феноменологический характер, поскольку уравнения есть не что иное, как балансовые соотношения, которые для замыкания модели необходимо дополнить описанием ростовых процессов и их зависимости от факторов внешней среды. Однако в модели Росса это описание сделано на уровне экспериментально определяемых коэффициентов.

С теоретической точки зрения такие модели разработаны достаточно полно [*]. Однако их применение на практике сопряжено с трудностью и адекватностью их реализаций. Часто, имея кривую хода роста дерева в виде зависимости его высоты от времени или — то же самое — для диаметра, исследователи подвергают данные регрессионному анализу с помощью пакета MS Excel, привлекая для этого наиболее подходящую в смысле коэффициента регрессии функцию. Логистическая зависимость как результат модели при этом игнорируется. Аппроксимация методом наименьших квадратов, заложенная в программе Excel, опирается на целевую функцию в виде суммы квадратов отклонений наблюдаемых значений от теоретической кривой и не имеет никакой физической основы наблюдаемого явления.

Материалы и методы. Уравнение логисты (так в последнее время называют S-образную кривую, характеризующую развитие биологических процессов с учетом ограниченных ресурсов) является решением обыкновенного дифференциального урав-

нения (ОДУ), которое легко решается методом разделения переменных. Остановимся подробнее на этом в связи с тем, что многие исследователи в сельскохозяйственных и биологических науках принимают получаемое при этом решение на веру, а иногда просто игнорируют его, осуществляя аппроксимацию на отвлеченную от реальности функцию методом наименьших квадратов.

Предположим, что в начальный момент времени t_0 биомасса растущего дерева была $m(t_0) = m_0$ при гипотетически возможно достижимой (предельной) из данных наблюдения (M). Процесс роста, если ресурсы внешней среды не ограничены, можно моделировать дифференциальным уравнением $dm/dt = \alpha m$, где α – коэффициент, отражающий скорость роста. Это уравнение является моделью роста без учета влияния окружающих деревьев при неограниченных биоресурсах питания из внешней среды. Чтобы учесть эти обстоятельства, запишем следующее дифференциальное соотношение:

$$\frac{dm}{dt} = \alpha m(M - m), \quad (1)$$

где dm/dt – увеличение биомассы за год; α – коэффициент роста; m – биомасса в текущий момент; $(M - m)$ – ограничение роста дерева; M – максимально возможная биомасса.

Отметим, что при достижении $m(t) = M$ значение скобки $(M - m)$ станет равным нулю и рост дерева прекращается: $\frac{dm}{dt} = 0$. Запишем (1) в виде $\frac{dm}{m(M - m)} = \alpha dt$ и проинтегрируем: $\int \frac{dm}{m(M - m)} = \alpha \int dt$. При нахождении интеграла воспользуемся разложением рациональной дроби [*]:

$$\frac{1}{(x + a)(x + b)} = \frac{1}{a - b} \frac{(x + a) - (x + b)}{(x + a)(x + b)}.$$

Для нашего случая:

$$\begin{aligned} \frac{1}{M} \int \left(\frac{1}{m - M} - \frac{1}{m} \right) dx &= \alpha \int dt, \\ \frac{1}{M} \ln \frac{m}{M - m} &= \alpha t + C, \quad \frac{m}{M - m} = A \cdot e^{M\alpha t}. \end{aligned}$$

A – постоянная интегрирования, которая определяется начальными условиями задачи. При $t = 0$ – начало наблюдения за ростом $m(0) = m_0$. Разрешая последнее выражение относительно m , получим:

$$\begin{aligned} m &= \frac{MAe^{M\alpha t}}{1 + Ae^{M\alpha t}}, \\ m_0 &= \frac{MAe^{M\alpha 0}}{1 + Ae^{M\alpha 0}} = \frac{MA}{1 + A}, \\ A &= \frac{m_0}{M - m_0}. \end{aligned}$$

После простых преобразований можно записать:

$$m(t) = \frac{1}{\left(\frac{1}{M} + \frac{1}{AM} \cdot e^{-M\alpha t} \right)}. \quad (2)$$

Это уравнение описывает многие процессы в природе и называется логистической кривой (рис. 1). При интерпретации хода роста дерева эта кривая достаточно хорошо описывает динамику его развития и удобна для прогнозирования. Однако полученное решение требует некоторой доработки для его практического использования. При интерпретации данных графическое изображение результатов аппроксимации весьма удобно и полезно. Однако при этом следует соблюдать определенные априорные правила нормировки наблюдаемых значений. Нормировка при этом, как правило, осуществляется на единицу. Такая процедура значительно расширяет информативность графиков, особенно при сравнении параметров временных рядов с различной размерностью и диапазоном возможных изменений. В нашем случае, если предположить, что максимальное значение равно 1, то это означает нормирование на единицу. В ходе такого нормирования все текущие значения преобразуются: $m = m(t)/M$ и формула (2) для логисты несколько изменится:

$$m = \frac{1}{1 + \frac{1-m_0}{m_0} \cdot e^{-at}}. \quad (3)$$

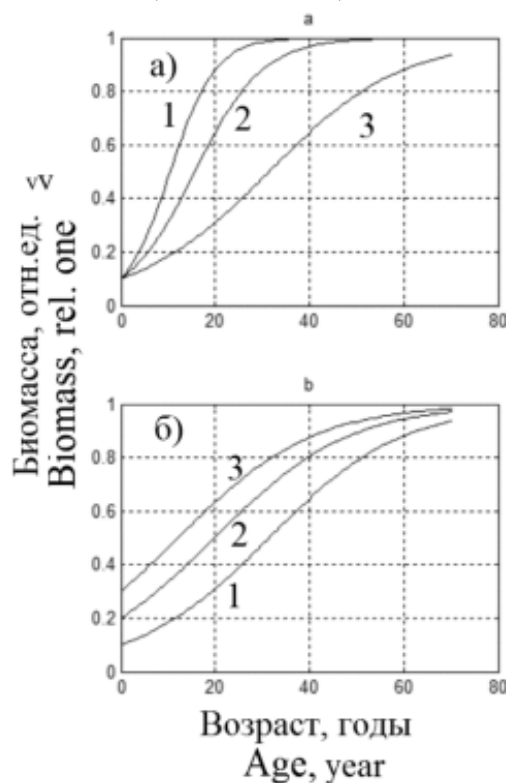


Рисунок 1 – Логистическая кривая (3) – решение дифференциального уравнения (1): а) – $m_0=0,1$; 1 – $c=0,07$; 2 – $c=0,14$; 3 – $c=0,21$; б) – $c=0,07$; 1 – $m_0=0,1$; 2 – $m_0=0,2$; 3 – $m_0=0,3$

Figure 1 – The logistic curve (3) is a solution of the differential equation (1): а) – $m_0=0,1$; 1 – $c=0,07$; 2 – $c=0,14$; 3 – $c=0,21$; б) – $c=0,07$; 1 – $m_0=0,1$; 2 – $m_0=0,2$; 3 – $m_0=0,3$

Феноменологическое описание роста в виде дифференциального уравнения (1) не учитывает кинетики химико-биологических и физических процессов, климата, изменяющего динамику окружающей среды произрастания. Вместе с тем с точки зрения формальной логики и балансовых концепций это уравнение вполне соответствует динамическим аспектам роста и развития древесной биомассы.

Высота дерева связана с накопленной за время роста биомассой и частично отражает результат модели. Совершенно очевидно, что биомасса при этом определяется массой ствола и листьев. Пренебрегая листвой, можно достаточно точно определить биомассу дерева как вес его стволовой части. Если представить ствол дерева в виде геометрически правильного треугольника с острым углом в вершине дерева, то можно найти достаточно точные аналитические связи между высотой, биомассой и радиусом, связав при этом их изменения во времени (приросты). Введем следующие обозначения: h – высота дерева, m – биомасса, r – радиус ствола, dh , dm и dr – их изменения за время dt , ρ – плотность дерева. В таких обозначениях изменение биомассы дерева за единицу времени (1 год) будет равно:

$$dm = \rho 2\pi r dr \cdot dh.$$

Результаты и обсуждение. Таким образом, прирост биомассы (dm) за время dt зависит от прироста дерева в высоту (dh) и увеличения его радиуса (dr). Зависимость биомассы от времени является логистической функцией (2). Вместе с тем изменение h и r также отражают динамику роста дерева. Однако их зависимости от времени будут отличаться от логистической. Действительно, прирост биомассы является функцией двух переменных (h и r). Математически это означает, что биомасса является сложной функцией от времени: $m(t) = f(h(t), r(t))$.

Чтобы определить функции прироста в высоту и увеличения диаметра, сделаем небольшие преобразования. Связь между высотой дерева и его диаметром определяется из его геометрического (стереометрического) строения. Радиус определяем по высоте, используя соотношение: $r = h \cdot \operatorname{tg} \gamma$, где h — высота, γ — половинный угол в вершине треугольника стереометрической модели ствола дерева. Для малых углов приближенно можно считать $\operatorname{tg} \gamma = r/h$. Отношение r/h — отношение радиуса ствола к высоте дерева — величина, которая определяет форму ствола, с достаточной точностью равно $\beta = 0.01$. В таком приближении получим $dm = \rho \cdot \pi r^2 dh = \rho \cdot \pi (\beta h)^2 dh$. В полученном дифференциальном уравнении выражена связь между высотой и биомассой. Проинтегрируем обе части уравнения:

$$\int_{m_0}^m dm = \rho \cdot \pi \beta^2 \int_{h_0}^h h^2 dh = \rho \cdot 3.14 \cdot \beta^2 \frac{h^3}{3},$$

где m_0 и h_0 — начальные значения биомассы и высоты. Отсюда $m = \rho \cdot 3.14 \cdot \beta^2 h^3 / 3$, то есть биомасса, являясь решением уравнения (1), связана с высотой степенной зависимостью в виде кубической параболы. Произведя обратный переход к переменной h , получим:

$$h = \frac{3 \cdot \beta^2}{3.14 \cdot \rho} \cdot m^{1/3}.$$

Из приведенных аналитических расчетов следует, что, наблюдая за изменением массы дерева от времени, можно получить ее логистическую аппроксимацию с помощью регрессии. Поскольку согласно дифференциальной модели (1) m является решением в виде массы ствола (лиственной частью можно пренебречь), то экспериментально наблюдаемые кривые высоты дерева, как функции времени, отражают решение в кубическом масштабе через его биомассу: $h = \frac{A}{\rho} m^{1/3}$. Произведем логарифмирование и получим:

$$\lg h = \lg \frac{A}{\rho} + \frac{1}{3} \lg m, \quad (4)$$

т.е. логарифмы высоты и биомассы дерева связаны линейным законом. Если вместо m ввести её решение как функцию возраста дерева, то получим:

$$\lg h = \lg \frac{A}{\rho} + \frac{1}{3} \lg \left(\frac{1}{1 + b \cdot e^{ct}} \right) = \lg \frac{A}{\rho} - \frac{1}{3} \lg(1 + b \cdot e^{ct}). \quad (5)$$

Таким образом, из феноменологических представлений решение модели (1) в виде формул (2) и (3) описывает динамику биомассы дерева, но не его высоты или диаметра. Формулы (5) и (6) описывают динамику роста дерева через его высоту, которая несет информацию об изменении биомассы опосредованно, через степенную зависимость.

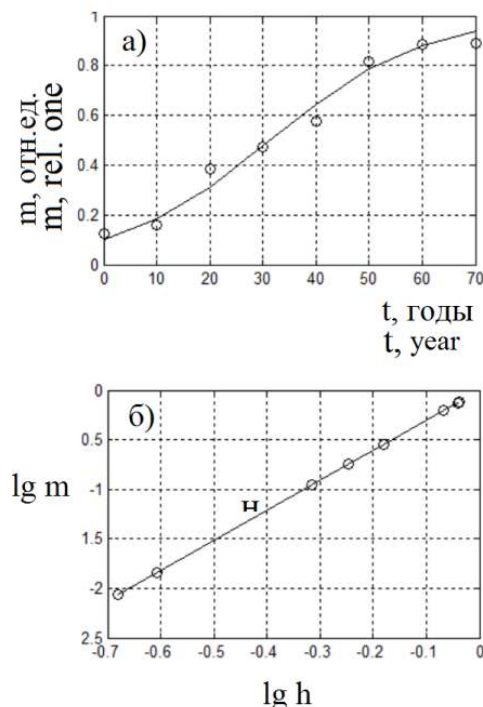


Рисунок 2 – Иллюстрация регрессии данных:

а) – на логистическую кривую $m = 1 / \left(1 + \frac{1 - m_0}{m_0} \cdot e^{-at} \right)$;

б) – связь динамики биомассы с высотой дерева в логарифмическом масштабе

Figure 2 – Illustration of data regression on logistic curve $m = 1 / \left(1 + \frac{1 - m_0}{m_0} \cdot e^{-at} \right)$ –a) and relation of biomass dynamics with tree height on logarithmic scale – b)

Сравнивая ход роста сосны в массивных и полезащитных насаждениях, заметили [10], что лучшим ростом порода характеризуется именно в защитных лесных полосах. Это объясняется условиями роста, меньшей конкуренцией за питательные вещества и влагу и меньшей внутривидовой конкуренцией. При исследовании влияния этих условий на динамику развития деревьев нужно использовать физически обоснованные модели. Скорость

развития и ее связь с условиями произрастания отражены зависимостью (2), в которой m_0 и α – параметры, описывающие динамику соответствующей им породы дерева. Использование логистической аппроксимации биомассы дерева здесь наиболее обоснованно. Это необходимо для интерпретации и понимания механизмов, а также химико-биологических процессов, сопровождающих рост деревьев.

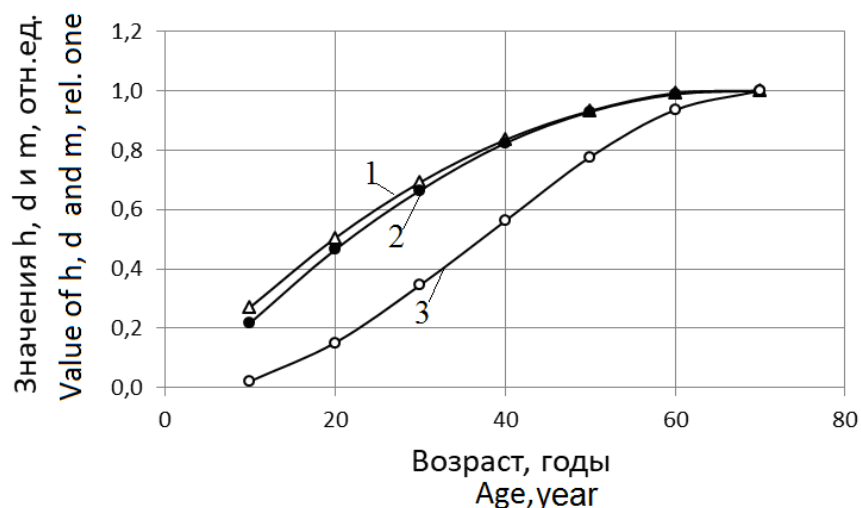


Рисунок 3 – Ход роста *Pinus pallasiana* D. Don в защитных лесных полосах степной зоны Крыма [10]:

1 – высота; 2 – диаметр; 3 – биомасса

Figure 3 – Growth course of *Pinus pallasiana* D. Don in protected forest strips of Steppe zone of Crimea [10]:

1 – height; 2 – diameter; 3 – biomass

На рисунке 3 приведены результаты аппроксимации роста сосны *Pinus pallasiana* D. Don по высоте, диаметру и биомассе, проведенной автором [5]. Из рисунка видно, что кривая биомассы имеет вид логисты, несмотря на то что аппроксимируется кубическим полиномом. Высота и диаметр – кривыми без перегибов (полином второго порядка). Регрессия осуществлялась в MS Excel. Применение логисты в этом случае совершенно очевидно.

Закключение. Использование математического моделирования при интерпретации результатов исследований позволяет делать регрессионные методы научно обоснованными [2-5, 8, 9,13]. При этом существенную помощь оказывает интенсивное в настоящее время развитие нелинейных методов наименьших квадратов, которые достаточно полно разработаны фирмой MathWorks [14]. В пакете Matlab процедура нелинейной регрессии имеет удобный интерактивный интерфейс, позволяющий создавать сценарии вычислительного эксперимента, делать оптимизацию и прогнозирование. Это обстоятельство стимулирует развитие математических методов исследования роста биоценозов с применением нелинейного регрессионного анализа данных.

Библиографический список

1. Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. П. Динамические системы и модели биологии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 400 с.
2. Колобов А. Н., Фрисман Е. А. Имитационное моделирование процессов самоизреживания в одновозрастных однопородных древостоях // Матем. биология и биоинформ., 2016. Т. 11, выпуск 2. С. 323-335.

3. Колобов А. Н., Фрисман Е. А. Численно-аналитическое исследование модели роста дерева в условиях конкуренции за свет // Матем. биология и биоинформ., 2012. Т. 7, выпуск 1. С. 125–138.
5. Модели роста и взаимодействия деревьев / С. Б. Медведев [и др.] // Вестник Новосибир. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2015. Т.13, вып. 2. С. 42-54.
6. Моделирование продуктивности лесных плантаций при разных схемах пространственного размещения деревьев / И. В. Припутина [и др.] // Математическая биология и биоинформатика. 2016. Т. 11. № 2. С. 245–262. doi: 10.17537/2016.11.245
7. Модель восстановительно-возрастной динамики лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции / Н. С. Иванова, Г. П. Быстрой, С. А. Охотников, Е. С. Золотова // Современные проблемы науки и образования. 2011. №4; URL: <http://www/science-education.ru/98-4754>.
8. Рачко П. Имитационная модель динамики роста дерева как элемента лесного биогеоценоза // Вопросы кибернетики. 1978. Вып. 52. С. 73-109.
9. Салугин А. Н. Структурная модель Водного баланса Волгоградского региона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. №39(58). С. 203-212.
10. Скоринкин А. И. Математическое моделирование биологических процессов. Казань: Казан. ун-т, 2015. 86 с.
11. Сологуб Р. В. Рост и мелиоративная эффективность лесонасаждений с участием хвойных пород в условиях степного Крыма: автореферат диссертации кандидата с-х наук. Волгоград, 2018.
12. Чертов О. Г., Надпорожская М. А. Моделирование потоков вещества и энергии в наземных экосистемах // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т. 8. № 2. С. 391–399.
13. Grabarnik P., Myllymäki M., Stoyan D. Correct testing of mark independence for marked point patterns. *Ecological Modelling*. 2011. Vol. 222. P. 3888–3894. 51.
14. Frolov P. V., Zubkova E. V., Komarov A. S. A Cellular Automata Model for a Community Comprising Two Plant Species of Different Growth Forms // *Biology Bulletin*, 2015. Vol. 42. No. 4, P. 279-286.
15. Mathwork (2018). <http://directory.google.com/Top/Science/Math/Software/MATLAB>.
16. Shanin V. N., Komarov A. S., Bykhovets S. S. Simulation modelling for sustainable forest management: a case-study // *Procedia Environmental Sciences*. 2012. Vol. 13. P. 535–549.

Reference

1. Bratus' A. S., Novozhilov A. S., Platonov A. P. *Dinamicheskie sistemy i modeli biologii*. M.: FIZMATLIT, 2010. 400 p.
2. Kolobov A. N., Frisman E. A. Imitacionnoe modelirovanie processov samoizrezhivaniya v odnovozrastnyh odnoporodnyh drevostoyah // Матем. биология и биоинформ., 2016. Т. 11, vol. 2. P. 323-335.
3. Kolobov A. N., Frisman E. A. Chislenno-analiticheskoe issledovanie modeli rosta dereva v usloviyah konkurencii za svet // Матем. биология и биоинформ., 2012. Т. 7, vol. 1. P. 125-138.
4. Модели роста и взаимодействия деревьев / С. Б. Медведев [и др.] // Вестник Новосибир. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2015. Т.13, vol. 2. P. 42-54.
5. Modelirovanie produktivnosti lesnyh plantacij pri raznyh sxemah prostranstvennogo razmescheniya derev'ev / I. V. Pripulina [i dr.] // Математическая биология и биоинформатика. 2016. Т. 11. № 2. P. 245-262. doi: 10.17537/2016.11.245
6. Model' vosstanovitel'no-vozrastnoj dinamiki lesov Zaural'skoj holmisto-predgornoj provincii / N. S. Ivanova, G. P. Bystraj, S. A. Ohotnikov, E. S. Zolotova // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. №4; URL: <http://www/science-education.ru/98-4754>.
7. Rachko P. Imitacionnaya model' dinamiki rosta dereva kak jelementa lesnogo biogeocenoza // Voprosy kibernetiki. 1978. Vol. 52. P. 73-109.

8. Salugin A. N. Strukturnaya model' Vodnogo balansa Volgogradskogo regiona // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2015. №39(58). P. 203-212.

9. Skorinkin A. I. Matematicheskoe modelirovanie biologicheskikh processov. Kazan': Kazan. un-t, 2015. 86 p.

10. Sologub R. V. Rost i meliorativnaya jeffektivnost' lesonasazhdenij s uchastiem hvoynyh porod v usloviyah stepnogo Kryma: avtoreferat dissertaci kandidata s-h nauk. Volgograd, 2018.

11. Chertov O. G., Nadporozhskaya M. A. Modelirovanie potokov veschestva i jenergii v nazemnyh jkositemah // Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie. 2016. T. 8. № 2. P. 391-399.

12. Grabarnik P., Myllymäki M., Stoyan D. Correct testing of mark independence for marked point patterns. Ecological Modelling. 2011. Vol. 222. P. 3888–3894. 51.

13. Frolov P. V., Zubkova E. V., Komarov A. S. A Cellular Automata Model for a Community Comprising Two Plant Species of Different Growth Forms // Biology Bulletin, 2015. Vol. 42. No. 4, P. 279-286.

14. Mathwork (2018). <http://directory.google.com/Top/Science/Math/Software/MATLAB>.

15. Shanin V. N., Komarov A. S., Bykhovets S. S. Simulation modelling for sustainable forest management: a case-study // Procedia Environmental Sciences. 2012. Vol. 13. P. 535–549.

Информация об авторе

Салугин Александр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, *ФГБНУ* Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград (РФ 400062, пр-т Университетский 97), e-mail: saluginan@mail.ru, телефон: (8442) 46-25-67, 46-25-73, 89375416562, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-8240-3385>.

УДК 631.67.03:635.6:632.95

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-32

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ КАК ФАКТОРА СДЕРЖИВАНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ОРОШАЕМОГО ТОМАТА В ПЛЕНОЧНЫХ ТЕПЛИЦАХ

THE EFFICIENT USE OF ELECTROLYZED WATER AS A DETERRENT OF DISEASES OF IRRIGATED TOMATO IN PLASTIC-COVERED GREENHOUSES

С. Я. Семененко, доктор сельскохозяйственных наук

М. Н. Лытов, кандидат сельскохозяйственных наук

А. Н. Чушкин, кандидат технических наук

Е. И. Чушкина, кандидат сельскохозяйственных наук

S. Y. Semenenko, M. N. Lytov, A. N. Chushkin, E. I. Chushkina

*Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения РАН
(ПНИИЭМТ - филиал ФНЦ агроэкологии РАН), г. Волгоград*

*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective
Forestation of Russian Academy of Sciences*

*(Volga Research Institute of Environmental Reclamation Technologies - the branch
of Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences), Volgograd*

Дата поступления в редакцию 10.09.2019
Received 10.09.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019
Submitted 20.12.2019

Целью исследования является разработка и экспериментальная оценка эффективности способов применения электролизованной воды для подавления фитопатогенной микрофлоры овощных в культуре защищенного грунта без применения химических средств защиты растений. Способы применения электролизованной воды для решения задач комплексного фито-

оздоровления посадок томата в пленочных теплицах разрабатывались на основе анализа биологии генерализованных групп фитопатогенов, наиболее часто проявляющихся в таких условиях. Материалы исследования включают результаты эксперимента, реализованного авторами в посадках томата, гибрид Пинк Парадайз F1, с использованием легких пленочных теплиц без инженерной инфраструктуры для регулирования микроклимата посева. Экспериментальную апробацию прошли три способа использования электролизованной воды в монотехнологии и один вариант сочетанного применения электролизованной воды с микробиологическим препаратом на основе *Bacillus subtilis*. Из монотехнологий применения электролизованной воды как приема борьбы с болезнями растений в качестве наиболее эффективного метода выделен способ однократных проливов для дезинфекции тепличного грунта. По эффективности он практически не уступал технологии регулярного орошения с применением электролизованной оросительной воды и существенно выигрывает по сравнению с последней в плане экономии ресурсов на проведения электрохимической водоподготовки. Использование сильных католитов, -600 мВ, или анолитов, +800 мВ, позволило сократить распространение *Alternaria solani* до 15-17 шт., или 1,0-1,1 % пораженных растений, *Septoria lycopersici*, – до 5-6 шт., или 0,3-0,4 % пораженных растений за вегетационный период, однако оказалось неэффективным против *Phytophthora infestans*. Наилучшие показатели в опыте были получены при использовании слабого анолита, +400 мВ, для приготовления раствора бисолбисана (основа - *Bacillus subtilis*) и последующей дезинфекции грунта в теплице. Это позволило почти полностью подавить активность *Septoria lycopersici* и *Alternaria solani* и снизить распространение *Phytophthora infestans* до 22 шт., или 1,5 % пораженных растений за вегетационный период.

The aim of the study is to develop and experimentally evaluate the effectiveness of methods of using electrolyzed water to suppress the phytopathogenic vegetable microflora in a protected ground culture without the use of chemical plant protection products. The methods of using electrolyzed water to solve the problems of complex phyto-healing of tomato plantings in film greenhouses were developed on the basis of an analysis of the biology of generalized groups of phytopathogens, which are most often manifested in such conditions. The research materials include the results of an experiment carried out by the authors in tomato plantings, the Pink Paradise F1 hybrid, using light film greenhouses without an engineering infrastructure to control the microclimate of the crop. Three methods of using electrolyzed water in monotechnology, and one variant of the combined use of electrolyzed water with a microbiological preparation based on *Bacillus subtilis*, passed experimental testing. From monotechnologies for the use of electrolyzed water as a method of combating plant diseases, a single spill method for disinfection of greenhouse soil has been identified as the most effective method. In terms of efficiency, it was practically not inferior to the technology of regular irrigation using electrolyzed irrigation water and significantly outperformed the latter in terms of saving resources for electrochemical water treatment. The use of strong catholytes, - 600 mV, or anolytes, +800 mV, reduced the distribution of *Alternaria solani* to 15-17 pcs. or 1,0-1,1% of affected plants, *Septoria lycopersici*, up to 5-6 pcs. or 0,3-0,4% of affected plants during the growing season, however, it was not effective against *Phytophthora infestans*. The best results in the experiment were obtained using a weak anolyte, + 400 mV, for the preparation of a solution of bisolbisan (base - *Bacillus subtilis*) and subsequent disinfection of the soil in the greenhouse. This made it possible to almost completely suppress the activity of *Septoria lycopersici* and *Alternaria solani* and to reduce the distribution of *Phytophthora infestans* to 22 pcs. or 1,5% of affected plants during the growing season.

Ключевые слова: электролизованная вода, болезни растений, способы применения электролизованной воды, биологическая защита растений.

Keywords: electrolyzed water, plant diseases, methods of application, biological protection.

Цитирование. Семененко С. Я., Лытов М. Н., Чушкин А. Н., Чушкина Е. И. Эффективность использования электролизованной воды как фактора сдерживания болезней орошаемого томата в пленочных теплицах. *Известия НВ АУК.* 2019. №4 (56). 271-281. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-32.

Citation. Semenenko S. Ya., Lytov M. N., Chushkin A. N., Chushkina E. I. The efficient use of electrolyzed water as a deterrent of diseases of irrigated tomato in plastic-covered greenhouses. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 271-281 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-32.

Введение. Современные проблемы экологии сельскохозяйственного производства в значительной мере обусловлены широким распространением и интенсивным применением средств агрономической химии [3, 6, 7, 13, 14]. Сегодня проблема достигла того уровня, когда внедряются кардинальные методы трансформации принципов сельскохозяйственного производства, принципы которых обобщены в рамках системы органического земледелия [2, 8, 12, 15]. Значительная часть наиболее токсичной химии используется для решения актуальных задач защиты растений. Декларируемые и сегодня уже активно внедряемые подходы органического земледелия в этой сфере не всегда бесспорны и, как правило, ограничены совокупностью условий применения. Отказ от традиционных средств защиты, включая, в первую очередь, весь спектр пестицидов, сводит на нет возможность использования разработанных и активно применяемых ныне интегрированных систем защиты растений. Это требует разработки новых, эффективных средств подавления патогенной микрофлоры и борьбы с вредителями, на основе не токсичных, экологически безопасных технологий [5, 9, 10]. Сегодня проводится активная исследовательская работа в этом направлении, предложен ряд методов биологической защиты растений, основанных на использовании энтомофагов, природных антибиотиков, конкурентных групп микроорганизмов. Перспективными являются и методы биофизического воздействия на фитопатогенную микрофлору растений. Одним из таких методов является использование электролизованной воды с электрохимически инициированным сдвигом pH и редокс-потенциала.

Целью исследований является разработка и экспериментальная оценка эффективности способов применения электролизованной воды для подавления фитопатогенной микрофлоры овощных в культуре защищенного грунта на безпестицидной основе.

Материалы и методы. Овощи, возделываемые в условиях защищенного грунта, наиболее восприимчивы и наиболее часто поражаются различными группами фитопатогенов. Наиболее благоприятные условия для активации и распространения болезней растений создаются в легких пленочных укрытиях. Сложности с поддержанием микроклимата, чередование значительных понижений температуры с перегревом окружающей среды, высокая влажность воздуха, росообразование и другие факторы, способствующие развитию болезней, в пленочных теплицах достаточно сильно выражены [11]. Системное применение высокотоксичных ядов в этих условиях объективно признано производственной необходимостью, а потребитель вряд ли может рассчитывать на экологически чистую и безопасную продукцию. И формальное соблюдение санитарных норм здесь не является абсолютным критерием, ведь они разрабатываются с учетом возможностей современных технологий, а по ряду важных позиций просто не прописаны. Поэтому поиск новых, экологически безвредных методов борьбы с болезнями овощных культур, возделываемых в легких пленочных теплицах, является объективной проблемой современности.

Исследование эффективности применения электролизованной воды для подавления фитопатогенной микрофлоры в пленочных теплицах проводилось на примере культуры томата (гидрид Пинк Парадайз F1). Способы применения электролизованной воды для решения задач комплексного фитооздоровления посадок томата в пленочных теплицах разрабатывались на основе анализа биологии генерализованных групп фитопатогенов, наиболее часто проявляющихся в таких условиях. Экспериментально была

апробирована эффективность следующих способов применения электролизованной воды в посевах томата защищенного грунта (фактор А): вариант А1 – использование электролизованной воды для проливки почвогрунта в теплицах перед высадкой рассады; вариант А2 – использование раствора бисолбисана (*Bacillus subtilis*, штамм Ч-13 с метаболитами, полученными в процессе культивирования штамма) на электролизованной воде для проливки почвогрунта в теплицах перед высадкой рассады; вариант А3 – орошение томатов с использованием электролизованной воды; вариант А4 – обработка вегетативных органов растений томата электролизованной водой способом опрыскивания. По величине электрохимически инициированного сдвига электролизованной воды (фактор В) опыты были заложены со следующими вариантами: В1 – слабый католит ($E_h = 0$ мВ); В2 – средний католит ($E_h = -200$ мВ); В3 и В4 – сильные католиты с $E_h = -400$ мВ и $E_h = -600$ мВ соответственно; В5 – слабый анолит ($E_h = +400$ мВ); В6 – средний анолит ($E_h = +600$ мВ); В6 – сильный анолит ($E_h = +800$ мВ). За контроль принят вариант с использованием воды, не прошедшей электрохимическую обработку ($E_h \approx +200$ мВ).

Экспериментальная часть исследований выполнялась на опытных площадках КФХ «Толочко Ф. Ю.» Среднеахтубинского района Волгоградской области, организованных по описанной выше схеме. Выявление пораженных растений проводили по характерной для специфики развития болезни симптоматике на протяжении всего вегетационного периода. Пораженные растения выбраковывали и удаляли из посева тщательно и аккуратно пакетируемые на месте произрастания, включая коревую систему с почвенным комком. Почву на месте заболевшего растения проливали раствором бисолбисана. В совокупности это позволяло сократить вероятность перекрестного распространения болезни по типу «от растения к растению» до минимума. Из удаленных растений формировали выборки, сгруппированные по совокупности видоспецифичных признаков болезней, которые отправляли в лабораторию «Россельхозцентра» с целью идентификации видового состава фитопатогенной микрофлоры.

Учитывая особую вредоносность фитопатогенной микрофлоры в условиях защищенного грунта с характерными для пленочных теплиц особенностями микроклимата, а также принимая во внимание интересы хозяйствующего субъекта, на территории которого закладывались опыты, при поражении более 2 % растений за фазу регистрировалась опасность эпифитотии. Растения томата при этом обрабатывали соответствующими химическими препаратами, позволяющими подавить распространение фитопатогенной микрофлоры. Соответствующему варианту опыта присваивали класс Э (эпифитотия), что с большой степенью вероятности соответствовало бы действительности если бы химические обработки не проводили. Распространение болезней в остальных вариантах опыта оценивалось общим числом пораженных за вегетационный период растений.

Результаты и обсуждение. Исследования подтвердили объективную необходимость системного использования химических средств защиты растений при выращивании овощей в теплицах пленочного типа. Значительной части вариантов опыта без использования ядохимикатов был присвоен статус «Э», что характеризует высокую вероятность развития эпифитотии и полной гибели посевов в теплице. Присвоение такого статуса варианту обоснованно является отрицательным результатом исследований. Наряду с этим получены объективные данные, свидетельствующие о возможности сохранения фитосанитарного состояния посевов томата в пленочных теплицах на приемлемом уровне при использовании электролизованной воды, а также приготовленных на ее основе растворов микробиологических препаратов.

Одним из основных, наиболее распространенных источников инфекции томата при выращивании в пленочных теплицах является грунт. Использование обеззараженных грунтов, непосредственная дезинфекция грунта в теплице является объективно необходимым и действенным приемом борьбы с болезнями растений. Исследованиями получены экспериментальные данные, характеризующие эффективность применения электролизованной воды в качестве дезинфиката для обработки грунта в пленочной теплице. Данные сгруппированы относительно выявленных возбудителей болезней растений и приведены в таблице 1.

Приведенные в таблице 1 данные подтверждают, что видовой состав фитопатогенной микрофлоры, являющейся возбудителями болезней растений, может существенно различаться по годам и сезонам. Например, в 2018 году были выявлены подтвержденные очаги таких болезней растений, как альтернариоз томата и септориоз, а в 2019 году было выявлено такое опаснейшее заболевание, как фитофтороз пасленовых. На контроле, где тепличный грунт проливали обычной, необработанной оросительной водой, болезни развивались с динамикой, характеризующей высокую вероятность развития эпифитотии; для сохранения томатов в теплице были проведены химические обработки, а вариант выбракован из дальнейшего исследования. При дезинфекции грунта в теплице электролизованной водой как катодами, так и анодами (за исключением варианта с использованием анолита +400 мВ), распространение очагов септориоза и, главное, альтернариоза в 2018 году сдерживалось, что позволило проводить наблюдения в течение всего вегетационного периода.

Таблица 1 - Распространение фитопатогенной микрофлоры при выращивании томата в пленочных укрытиях с использованием электролизованной воды для дезинфекции грунта (выборка – 1500 рассадных растений)

Table 1 – Distribution of phytopathogenic microflora when growing tomato in film shelters using electrolyzed water for soil disinfection (sample-1500 seedling plants)

Редокс-потенциал электролизованной воды, мВ / Redox potential of electrolyzed water, mV	2018 год			2019 год		
	Количество растений с признаками болезни, шт./ The number of plants with signs of the disease, pcs.					
	Alternaria solani	Septoria lycopersici	Всего	Phytophthora infestans	Septoria lycopersici	Всего
Необработанная вода (контроль, +200) / Control option	>47	>7	Э	>55	>4	Э
0	42	9	51	>49	>4	Э
-200	33	8	41	>49	>3	Э
-400	25	8	33	>46	>2	Э
-600	15	5	20	>42	>2	Э
+400	>53	>6	Э	>49	>4	Э
+600	37	8	45	>48	>2	Э
+800	17	6	23	>37	>3	Э
HCP ₀₅ , шт./ LSD ₀₅ , pcs.	2,2	0,9	-	2,5	0,3	-

Анализ численного материала показал повышение эффективности применения электролизованной воды для дезинфекции тепличного грунта с увеличением электрохимически инициированного сдвига редокс-потенциала обработанной воды. Так, при обработке грунта слабым анолитом, с нулевым редокс-потенциалом общее число пораженных растений в 2018 году составило 51 шт. Обработка же сильным католиком позволила снизить число пораженных за вегетационный период растений до 20 шт. Слабые и средние анолиты в этом опыте оказались неэффективными: в варианте с обра-

боткой электролизованной водой +400 мВ была зарегистрирована опасность развития эпифитотии, а при обработке грунта водой с редокс-потенциалом +600 мВ за вегетационный период было удалено 45 пораженных растений. В то же время сильный анолит (+800 мВ) оказался наиболее эффективным – число заболевших растений за вегетационный период не превышало 23 шт.

В 2019 году всем вариантам опыта в рамках рассматриваемого способа применения электролизованной воды был присвоен класс «Э» в связи с высокой вероятностью развития эпифитотии. Использование электролизованной водой для проливки грунта оказалось неэффективным против фитофтороза пасленовых, очаги и динамичное распространение которого были зафиксированы в посадках томата 2019 года. При этом динамика распространения септориоза сокращалась с увеличением электрохимически инициированного сдвига электролизованной воды, как и в 2018 году. Таким образом, видовой состав патогенной микробиоты существенно влияет на эффективность применения электролизованной воды с целью фитооздоровления посевов.

Сегодня разработаны и апробированы технологии орошения сельскохозяйственных культур электролизованной водой [1]. Технологии основаны на использовании совокупного эффекта применения электролизованной воды в ростостимулирующем и фитооздоравливающем плане. В настоящем исследовании закладка варианта с орошением рассадных томатов электролизованной водой в пленочных теплицах была выполнена с целью сравнения эффективности подавления активности фитопатогенной микрофлоры и снижения динамики распространения болезней с другими способами применения этой технологии.

В отличие от предыдущего способа использования орошение электролизованной водой предполагает регулярное воздействие на почвенную микробиоту, включая фитопатогенных микроорганизмов. Наряду с этим применяемая технология капельного орошения предполагает постепенное, существенно растянутое во времени насыщение почвогрунта электролизованной водой; сокращается также и зона воздействия, ограниченная рекомендуемым для культуры активным слоем почвы. Исследованиями не выявлено выраженного преимущества от орошения электролизованной водой в сравнении с однократным применением электролизованной воды для дезинфекции грунта перед высадкой рассады (таблица 2).

Таблица 2 – Распространение фитопатогенной микрофлоры при выращивании томата в пленочных укрытиях с использованием электролизованной воды орошения (выборка – 1500 рассадных растений)

Table 2 – Distribution of phytopathogenic microflora when growing tomato in film shelters using electrolyzed irrigation water (sample-1500 seedling plants)

Редокс-потенциал электролизованной воды, мВ / Redox potential of electrolyzed water, mV	2018 год			2019 год		
	Количество растений с признаками болезни, шт./ The number of plants with signs of the disease, pcs.					
	Alternaria solani	Septoria lycopersici	Всего	Phytophthora infestans	Septoria lycopersici	Всего
Необработанная вода (контроль, +200) / Control option	>47	>7	Э	>55	>4	Э
0	42	8	50	>57	>4	Э
-200	28	8	36	>46	>2	Э
-400	21	6	27	>42	>1	Э
-600	12	4	16	>43	>2	Э
+400	>55	>6	Э	>52	>3	Э
+600	>45	>5	Э	>55	>3	Э
+800	31	2	33	>43	>5	Э
HCP ₀₅ , шт./LSD ₀₅ , pcs.	2,2	0,9	-	2,5	0,3	-

Слабые католиты также были менее эффективны, чем сильные, и даже количественные оценки распространения болезней в этих двух способах применения электролизованной воды были сходны. Отличие заключалось только в снижении эффективности применения анолитов – при орошении электролизованной водой с редокс-потенциалом +400 мВ и +600 мВ была зарегистрирована опасность развития эпифитотии. Такая тенденция, в общем случае, коррелирует с более слабым развитием растений томата при проведении регулярных поливов анолитом, неоднократно отмеченных в ранее проводимых исследованиях [4]. Анолит с редокс-потенциалом +800 мВ, используемый для орошения, позволил завершить производственный цикл без применения средств химической защиты растений, однако число заболевших, удаленных впоследствии растений, оказалось больше, чем при проведении дезинфекции грунта перед высадкой рассады. В 2019 году из-за появления и быстрого распространения фитофторы в опытных посевах томата все варианты с орошением электролизованной водой были выбракованы с признанием опасности развития эпифитотии.

Еще одним, экспериментально опробованным вариантом стало использование раствора микробиологического препарата Бисолбисан на прошедшей электрохимическую обработку воде (таблица 3). Раствор также применяли для дезинфекции грунта в теплице способом проливки перед высадкой рассады. Контрольный вариант предусматривал проведение обработок грунта раствором препарата Бисолбисан, приготовленного на основе природной, электрохимически не обработанной, воды.

Дезинфекция грунта микробиологическим препаратом Бисолбисан оказалась сильным, весьма эффективным фактором сдерживания распространения болезней растений в пленочных теплицах. В 2018 году на контроле, с проливкой тепличного грунта раствором Бисолбисана на природной воде, за вегетационный период было удалено 23 пораженных растения. Использование католита для приготовления раствора Бисолбисана и последующей дезинфекции тепличного грунта не показало какого либо существенного эффекта.

Таблица 3 – Распространение фитопатогенной микрофлоры при выращивании томата в пленочных укрытиях с использованием раствора бисолбисана на электролизованной воде (выборка – 1500 рассадных растений)

Table 3 – Distribution of phytopathogenic microflora when growing tomato in film shelters using a solution of bisolbisan on electrolyzed water (sample-1500 seedling plants)

Редокс-потенциал электро- лизованной воды, мВ / Redox potential of electro- lyzed water, mV	2018 год			2019 год		
	Количество растений с признаками болезни, шт./ The number of plants with signs of the disease, pcs.					
	Alternaria solani	Septoria lycopersi- ci	Всего	Phy- tophthora infestans	Septoria lycopersi- ci	Всего
Необработанная вода (кон- троль, +200) / Control option	16	7	23	34	2	36
0	12	9	21	>39	>2	Э
-200	17	8	25	>41	>3	Э
-400	21	8	29	>47	>1	Э
-600	12	6	18	>42	>1	Э
+400	5	1	6	22	0	22
+600	15	4	19	>38	>1	Э
+800	22	6	28	>45	>1	Э
НСР ₀₅ , шт./ LSD ₀₅ , pcs.	2,2	0,9	-	2,5	0,3	-

В вариантах со слабым (0мВ) и сильным (-600 мВ) католитом за вегетационный период было зарегистрировано соответственно 21 и 18 растений, а при использовании католитов с электрохимически инициированным сдвигом редокс-потенциала -200 мВ и -400 мВ число пораженных болезнями томатных растений возрастало до 25-29 шт. Существенный эффект в 2018 году был выявлен при использовании для приготовления раствора Бисолбисана слабого анолита с редокс-потенциалом +400 мВ. Прополка тепличного грунта таким раствором обеспечила сокращение динамики распространения болезней в посевах томата до 6 растений за вегетационный период. Этот же вариант оказался наиболее эффективным и в 2019 году, сдерживая распространение фитофторы и полностью предотвратив случаи поражения растений септориозом. Всего заболевших за вегетационный период растений томата на участках этого варианта зарегистрировано не более 22, что на 38,8 % меньше, чем на контроле. Все прочие варианты, где раствор Бисолбисана готовили на католитах (все варианты электрохимически инициированного сдвига) и анолитах (с редокс-потенциалом +600 мВ и +800 мВ), были выбракованы с регистрацией опасности развития эпифитотии.

Другим способом применения электролизованной воды с целью сдерживания развития и распространения болезней томата в опытах стала обработка вегетативных органов растений опрыскиванием. Принципиальным отличием этого способа является его применение по источникам инфекции, расположенным непосредственно на вегетативных органах растений. Такой подход практикуется при использовании всех контактных и большинства системных пестицидов. Исследования показали, что использование электролизованной воды для опрыскивания вегетативных органов растений в пленочных теплицах не является приемлемой заменой химическим средствам борьбы с болезнями томата (таблица 4).

Таблица 4 – Распространение фитопатогенной микрофлоры при выращивании томата в пленочных укрытиях с использованием электролизованной воды для обработки вегетативных органов растений (выборка – 1500 рассадных растений)

Table 4 – Distribution of phytopathogenic microflora when growing tomato in film shelters using electrolyzed water for processing vegetative organs of plants

Редокс-потенциал электролизованной воды, мВ / Redox potential of electrolyzed water, mV	2018 год			2019 год		
	Количество растений с признаками болезни, шт./ The number of plants with signs of the disease, pcs.					
	Alternaria solani	Septoria lycopersici	Bcero	Phytophthora infestans	Septoria lycopersici	Bcero
Необработанная вода (контроль, +200) / Control option	>55	>32	Э	>67	>14	Э
0	>45	>34	Э	>69	>14	Э
-200	>39	>29	Э	>59	>10	Э
-400	>33	>25	Э	>48	>7	Э
-600	>27	>52	Э	>42	>5	Э
+400	>58	>37	Э	>52	>17	Э
+600	>47	>31	Э	>45	>12	Э
+800	>42	>29	Э	>42	>8	Э
HCP ₀₅ , шт./ LSD ₀₅ , pcs.	2,2	0,9	-	2,5	0,3	-

И по сезону 2018 года, и в 2019 году исследований всем вариантам опыта, где вегетативные органы томата обрабатывали электролизованной водой способом опрыскивания, был присвоен класс «Э», что связано с высокой вероятностью развития эпифитотии и полной гибели урожая в теплице. В 2018 году отмечено сочетанное прогресс-

сирование таких болезней, как септориоз (*Septoria lycopersici*) и альтернариоз томата (*Alternaria solani*), тогда как в 2019 году опасность тотального поражения посевов в теплице была зафиксирована из-за динамичного распространении *Phytophthora infestans* (фитофтороза пасленовых).

Слабая эффективность электролизованной воды при использовании ее по вегетативным органам томата, как минимум, может быть связана с двумя факторами. Первая и основная причина заключается в создании благоприятных условий для активизации фитопатогенной микрофлоры, в том числе из-за формирования капельно-жидкостных форм на вегетативных органах растений. Электролизованная вода в таких условиях быстро релаксирует с восстановлением свойств природной оросительной воды, которая и является фактором прорастания, а также активного развития фитопатогенной микрофлоры. Вторая причина связана с динамикой релаксации электролизованной воды при проведении обработок способом опрыскивания. Мелкокапельное распыление электролизованной воды приводит к кратному сокращению электрохимически инициированного сдвига редокс-потенциала, в результате чего воздействие на фитопатогенную микрофлору ослабляется.

Заключение. Воздействие электролизованной воды на фитопатогенную микрофлору осуществляется на средовом уровне, что предполагает создание неблагоприятных условий для активизации, развития, а в некоторых случаях определяет гибель фитопатогенных микроорганизмов. Средовое сдерживание развития фитопатогенной микрофлоры нельзя считать полноценной альтернативой химическим средствам защиты растений в борьбе с активными формами болезней растений, однако в качестве фактора системного фитооздоровления этот метод имеет перспективы, в том числе при использовании в пленочных теплицах. Из монотехнологий применения электролизованной воды как приема борьбы с болезнями растений наиболее перспективным оказался метод однократных проливов для дезинфекции тепличного грунта. По эффективности он практически не уступал технологии регулярного орошения с применением электролизованной оросительной воды и существенно выигрывает по сравнению с последней в плане экономии ресурсов на проведение электрохимической водоподготовки. Наиболее эффективным оказалось применение катода с электрохимически смещенным редокс-потенциалом -600 мВ или анолита с редокс-потенциалом +800 мВ. Следует признать, что и в этом случае эффективность монотехнологии применения электролизованной воды зависит от видового состава фитопатогенной микрофлоры. По подтвержденным очагам инфекции *Alternaria solani* (альтернариоз томата) и *Septoria lycopersici* (септориоз) применение электролизованной воды позволяло сдерживать распространение болезней на приемлемом для производства уровне. Однако против *Phytophthora infestans* (фитофтороза пасленовых) использование электролизованной воды в монотехнологии оказалось неэффективным, была зарегистрирована высокая вероятность развития эпифитотии. Исследования подтвердили высокую эффективность сочетанного использования электролизованной воды с микробиологическими препаратами. Использование раствора Бисолбисана (микробиологический препарат на основе *Bacillus subtilis* с метаболитами) на слабом анолите (+400 мВ) для дезинфекции грунта в теплице позволило практически полностью подавить активность *Septoria lycopersici* и *Alternaria solani* и снизить распространение фитофтороза пасленовых (*Phytophthora infestans*) до приемлемого на производстве уровне. Использование католиков либо более сильных анолитов снижало эффективность действия микробиологического препарата бисолбисан.

Библиографический список

1. Алгоритм расчета систем капельного орошения с модулем электрохимической активации оросительной воды / С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин, Е. И. Чушкина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 4 (28). С. 20-36.

2. Гугучкина Т. И., Касьянов Г. И., Сабельникова Т. А. К вопросу производства биоорганических продуктов // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. № 48 (6). С. 114-125.
3. Макоева Л. С., Засеева Д. Т., Тавасиева З. Р. Экономическая целесообразность и экологическая безопасность химизации растениеводства // Известия Горского государственного аграрного университета. 2015. Т. 52. № 3. С. 208-213.
4. Продуктивность томатов при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды / С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, Е. И. Чушкина, А. Н. Чушкин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 2 (14). С. 1-14.
5. Пушня М. В., Снесарева Е. Г. Агробиотехнологические приемы защиты картофеля от картофельной минирующей моли в центральной зоне Краснодарского края // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 79-82.
6. Санникова Н. В., Шулепова О. В. К вопросу об утилизации тары средств химической защиты растений // Агропродовольственная политика России. 2017. № 12 (72). С. 129-132.
7. Семин А. Н., Михайлюк О. Н., Вахитова З. Т. Оценка производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции // Научное обозрение: теория и практика. 2018. № 4. С. 174-179.
8. Трубников Ю. Н., Едигеичев Ю. Ф. Основные принципы органического земледелия и возможности их реализации для кормопроизводства в условиях малых форм хозяйствования // Вестник КрасГАУ. 2018. № 6 (141). С. 66-70.
9. Федоренко В. П., Ткаленко А. Н., Конверская В. П. Достижения и перспективы развития биологического метода защиты растений в Украине // Защита и карантин растений. 2010. № 4. С. 12-15.
10. Angelopoulou D. J., Naska E. J., Paplomatas E. J. Biological control agents (BCAs) of verticillium wilt: influence of application rates and delivery method on plant protection, triggering of host defence mechanisms and rhizosphere populations of BCAs // Plant pathology. 2014. Vol. 63. №5. P. 1062-1069.
11. Bledsoe M. Optimizing use of biopesticides for successful, cost-effective plant disease management in greenhouse vegetable production // Phytopathology. 2014. Vol. 104. №11. P. 140-144.
12. Connor D. J. Organic agriculture and food security: A decade of unreason finally implodes // Field crops research. 2018. Vol. 225. P. 128-129.
13. Itoh K. Study of the ecology of pesticide-degrading microorganisms in soil and an assessment of pesticide effects on the ecosystem // Journal of pesticide science. 2014. Vol. 39. № 3-4. P. 174-176.
14. Raine N. E., Gill R. J. Ecology Tasteless pesticides affect bees in the field // Nature. 2015. Vol. 521. №7550. P. 38-40.
15. Urra J., Alkorta I., Garbisu C. Potential Benefits and Risks for Soil Health Derived From the Use of Organic Amendments in Agriculture // Agronomy-basel. 2019. Vol. 9. № 542.

Reference

1. Algoritm rascheta sistem kapel'nogo orosheniya s modulem jelektrohimicheskoy aktivacii orositel'noj vody / S. Ya. Semenenko, M. N. Lytov, A. N. Chushkin, E. I. Chushkina // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. 2017. № 4 (28). P. 20-36.
2. Guguchkina T. I., Kas'yanov G. I., Sabel'nikova T. A. K voprosu proizvodstva bioorganicheskikh produktov // Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii. 2017. № 48 (6). P. 114-125.
3. Makoeva L. S., Zaseeva D. T., Tavasieva Z. R. Jekonomicheskaya celesoobraznost' i jekologicheskaya bezopasnost' himizacii rastenievodstva // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. Vol. 52. № 3. P. 208-213.
4. Produktivnost' tomatov pri kapel'nom oroshenii s ispol'zovaniem jelektrohimicheskii aktivirovannoj vody / S. Ya. Semenenko, M. N. Lytov, E. I. Chushkina, A. N. Chushkin // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. 2014. № 2 (14). P. 1-14.
5. Pushnya M. V., Snesareva E. G. Agrobiotekhnologicheskie priemy zaschity kar-tofelya ot kartofel'noj miniruyushej moli v central'noj zone Krasnodarskogo kraya // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2018. Vol. 32. № 3. P. 79-82.

6. Sannikova N. V., Shulepova O. V. K voprosu ob utilizacii tary sredstv hi-micheskoj zaschity rastenij // Agropodovol'stvennaya politika Rossii. 2017. № 12 (72). P. 129-132.
7. Semin A. N., Mihajlyuk O. N., Vahitova Z. T. Ocenka proizvodstva jekologicheski chistoj sel'skohozyajstvennoj produkcii // Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika. 2018. № 4. P. 174-179.
8. Trubnikov Yu. N., Edimeichev Yu. F. Osnovnye principy organicheskogo zem-ledeliya i vozmozhnosti ih realizacii dlya kormoproizvodstva v usloviyah malyh form hozyajstvovaniya // Vestnik KrasGAU. 2018. № 6 (141). P. 66-70.
9. Fedorenko V. P., Tkalenko A. N., Konverskaya V. P. Dostizheniya i perspektivy razvitiya biologicheskogo metoda zaschity rastenij v Ukraine // Zashita i karantin rastenij. 2010. № 4. P. 12-15.
10. Angelopoulou D. J., Naska E. J., Paplomatas E. J. Biological control agents (BCAs) of verticillium wilt: influence of application rates and delivery method on plant protection, triggering of host defence mechanisms and rhizosphere populations of BCAs // Plant pathology. 2014. Vol. 63. №5. P. 1062-1069.
11. Bledsoe M. Optimizing use of biopesticides for successful, cost-effective plant disease management in greenhouse vegetable production // Phytopathology. 2014. Vol. 104. №11. P. 140-144.
12. Connor D. J. Organic agriculture and food security: A decade of unreason finally implodes // Field crops research. 2018. Vol. 225. P. 128-129.
13. Itoh K. Study of the ecology of pesticide-degrading microorganisms in soil and an assessment of pesticide effects on the ecosystem // Journal of pesticide science. 2014. Vol. 39. № 3-4. P. 174-176.
14. Raine N. E., Gill R. J. Ecology Tasteless pesticides affect bees in the field // Nature. 2015. Vol. 521. №7550. P. 38-40.
15. Urra J., Alkorta I., Garbisu C. Potential Benefits and Risks for Soil Health Derived From the Use of Organic Amendments in Agriculture // Agronomy-basel. 2019. Vol. 9. № 542.

Информация об авторах:

Семененко Сергей Яковлевич, директор Поволжского эколого-мелиоративного института – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400012, г. Волгоград, ул. Трехгорная, 21), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6274-9565>. **E-mail:** pniemt@yandex.ru

Лытов Михаил Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории «Почвозащитных технологий орошения и информационных систем управления водным режимом» Поволжского эколого-мелиоративного института – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400012, г. Волгоград, ул. Трехгорная, 21), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>. **E-mail:** LytovMN@yandex.ru

Чушкин Алексей Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории «Почвозащитных технологий орошения и информационных систем управления водным режимом» Поволжского эколого-мелиоративного института – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400012, г. Волгоград, ул. Трехгорная, 21), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4856-5049>. **E-mail:** pniemt@yandex.ru

Чушкина Елена Ивановна, старший научный сотрудник лаборатории «Почвозащитных технологий орошения и информационных систем управления водным режимом» Поволжского эколого-мелиоративного института – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400012, г. Волгоград, ул. Трехгорная, 21), кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2551-5516>. **E-mail:** pniemt@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА
НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE
PNEUMATIC-MECHANICAL SEPARATOR BASED
ON A MULTI-FACTOR EXPERIMENT**

А. Н. Цепляев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А. Е. Габидулина, аспирант

А. В. Харлашин, кандидат технических наук, доцент

A. N. Tseplyaev, A. E. Gabidulina, A. V. Kharlashin

Волгоградский государственный аграрный университет

Volgograd State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 23.09.2019
Received 23.09.2019

Дата принятия к печати 02.12.2019
Submitted 02.12.2019

Качество очистки семенного материала горчицы оценивается по требованиям соответствующего ГОСТа, при этом учитывают чистоту семян и потери семян основной культуры [5, 8]. В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на процесс очистки на пневмомеханическом сепараторе: скорость вращения ротора, скорость воздушного потока в системе, образующего вакуум, а также угол установки воздушного кожуха. На лабораторной установке пневмомеханического сепаратора, изготовленного и защищенного патентом на изобретение №2681441 от 06.03.2019, проводились однофакторные и многофакторные эксперименты по изучению технологического процесса очистки вороха семян горчицы по показателям чистоты и потерь семян. Результаты однофакторных опытов представлены графически, найдены оптимальные параметры представленных ранее факторов. Далее в соответствии с методикой построения плана Рехтшафнера для 3-х факторного эксперимента исследовалась область оптимума и было составлено уравнение регрессии. Проведенные однофакторные эксперименты позволили определить точки резкого изменения кривых графически построенных зависимостей. Процесс разделения вороха семян горчицы связан с одновременным использованием воздушного потока и вращения ротора, поэтому принято комбинированное значение факторов, а именно отношение скорости вращения ротора к скорости воздушного потока « λ ». Его значение в однофакторных экспериментах колеблется от 0,2 до 0,35 для оптимальных значений процентного содержания примесей, а угол установки воздушного кожуха составляет 7° . При проведении многофакторного эксперимента соотношение скоростей $\lambda=0,32$, а угол наклона воздушного кожуха $\alpha=10^\circ$. При этих значениях факторов количество примесей не превышает 3 %.

The quality of cleaning mustard seed material is evaluated according to the requirements of the relevant National State Standard, while taking into account the purity of the seeds and the loss of seeds of the main culture [5, 8]. The article considers the main factors affecting the cleaning process on a pneumatic-mechanical separator: rotor rotation speed, air flow rate in the system forming a vacuum, and also the installation angle of the air casing. At the laboratory installation of a pneumatic-mechanical separator, manufactured and protected by invention patent No. 2681441 dated 03/06/2019, one-factor and multi-factor experiments were conducted to study the technological process of cleaning a heap of mustard seeds in terms of purity and seed loss. The results of one-way experiments are presented graphically, the optimal parameters of the previously presented factors are found. Further, in accordance with the methodology for constructing the Rechtschafner plan for a 3-factor experiment, the optimum region was studied and the regression equation was compiled. The conducted one-factor experiments made it possible to determine the points of sharp change in the curves of graphically constructed dependencies. The process of separating a pile of mustard seeds is associated with the simultaneous use of air flow and rotor rotation, therefore, the combined value of the factors is adopted,

namely, the ratio of rotor rotation speed to air flow velocity « λ ». Its value in univariate experiments ranges from 0,2 to 0,35 for optimal values of the percentage of impurities, and the installation angle of the air casing is 7° . When conducting a multivariate experiment, the ratio of speeds is $\lambda=0,32$, and the angle of inclination of the air casing is $\alpha=10^\circ$. At these values of the factors, the amount of impurities does not exceed 3 %.

Ключевые слова: пневмомеханические сепараторы, семенной ворох, скорость вращения ротора, воздушный поток, воздушный кожух, план Рехтшафнера, уравнение регрессии.

Key words: pneumatic-mechanical separator, seed heap, rotor speed, air flow, air casing, Rechtschafner plan, regression equation.

Цитирование. Цепляев А. Н., Габидулина А. Е., Харлашин А. В. Экспериментальное определение параметров пневмомеханического сепаратора на основе многофакторного эксперимента. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 282-290. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-33.

Citation. Tseplyaev A. N., Gabidulina A. E., Kharlashin A. V. Experimental determination of the parameters of the pneumatic-mechanical separator based on a multi-factor experiment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 282-290 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-33.

Введение. Основными факторами, влияющими на процесс очистки семян горчицы являются: скорость вращения ротора, скорость воздушного потока в системе, образующего вакуум, а также угол установки воздушного кожуха [4].

Поскольку в процессе обработки вороха горчицы весьма сложно установить взаимосвязь этих факторов, нами проведены многофакторные эксперименты по определению оптимальных параметров значения факторов, влияющих на чистоту семян и потери семян основной культуры [6].

В требованиях ГОСТ Р 52325-2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия» рассмотрены основные посевные качества семян горчицы, которые представлены в таблице 1. Данные показаны для следующих категорий семян:

- оригинальные семена (ОС) – семена первичных звеньев семеноводства, питомников размножения и суперэлиты, произведенные оригинатором сорта или уполномоченным им лицом и предназначенные для дальнейшего размножения;
- элитные семена (ЭС) – семена, полученные от последующего размножения оригинальных семян;
- репродукционные семена (РСт) – семена, предназначенные для производства товарной продукции [2].

Таблица 1 – Посевные качества семян горчицы ГОСТ Р 52325-2005

Table 1 – Sowing qualities of mustard seeds GOST R 52325-2005

Культура / Culture	Категория семян / Seed category	Чистота се- мян, %, не менее / Seed purity, %, not less than	Содержание семян других растений, шт./кг, не более / Seed content of other plants, pcs / kg, not more than		Всхожесть, %, не менее / Germina- tion, %, not less	Влажность, %, не более / Humidity, %, not more
			Всего/ in total	в т.ч. сорных/ including weed		
Горчица Сарептская / Mustard Sarept	ОС, ЭС, РСт / origi- nal seed, elite seeds, repro- duction seeds	99,6 97,0	80 720	40 400	90 85	12 12

Материалы и методы. Нами для проведения опытов использовались: ворох семян горчицы после обмолота, специально изготовленная лабораторная установка, стол с горизонтально установленной поверхностью, линейка со шкалой до 1 мм, лабораторные электронные весы Massa-K ВК-1500.1 с точностью 0,05 г, электрическая система отслеживания подачи семян.

Результаты и обсуждение. При проведении однофакторных опытов по изучению технологического процесса очистки вороха семян горчицы по показателям чистоты и потерь семян основной культуры использовались специальные оборудование и приборы [1]. Конструкция пневмомеханического сепаратора разработана в Волгоградском ГАУ на кафедре «Технические системы в АПК» [10] и защищена патентом на изобретение №2681441 от 06.03.2019.

На вращающийся ротор подавался семенной ворох (рисунок 1), а на горизонтальной плоскости стола определялись участки распределения содержимого вороха горчицы. Семенной ворох горчицы содержал в себе примеси минерального происхождения (песок, комочки земли и твердых включений и др.), легковесные примеси (остатки стеблей, листьев, поврежденные, щуплые, дефектные семена) и семена основной культуры.



Рисунок 1 – Лабораторная установка и распределение вороха горчицы после очистки на пневмомеханическом сепараторе

Figure 1 – Laboratory installation and distribution of mustard heap after cleaning on a pneumatic-mechanical separator

Схему распределения семенного вороха горчицы можно разделить на несколько участков (рисунок 2): АВ – участок сбора фракции вороха легковесных примесей (щуплое зерно горчицы, семена других культур и т.д.); ВС – участок смешанной фракции вороха (легковесные примеси, семена горчицы); СД – участок фракции семян горчицы (зерно основной культуры); ДЕ – участок смешанной фракции (семена горчицы, тяжелые, минеральные примеси); ЕФ – участок сбора тяжелых примесей; 1, 2 – точки установки датчиков.

На участке начала приема семян горчицы (рисунок 2) ВС установлен емкостной бесконтактный датчик приближения OsiSense XT XT1 Schneider Electric точка 1. Принцип работы емкостного датчика приближения заключается в использовании емкостных связей, где сам датчик выполняет функцию обкладки конденсатора, а диэлектриком яв-

ляется воздух. Вторая обкладка – земля. Датчик имеет в своем составе чувствительный электрод, который образует электрическое поле и создает емкость [11]. При этом у прибора формируется определенная рабочая зона чувствительности. Если в эту зону попадают зерна горчицы (с более высокой диэлектрической проницаемостью), то емкость начинает увеличиваться. При превышении заданного в настройках уровня, датчик фиксирует наличие объекта и переключает выходное реле, в результате которого логическим контроллером формируется выходной сигнал управления оборотами электродвигателя на повышение угловой скорости вращения последнего [12].

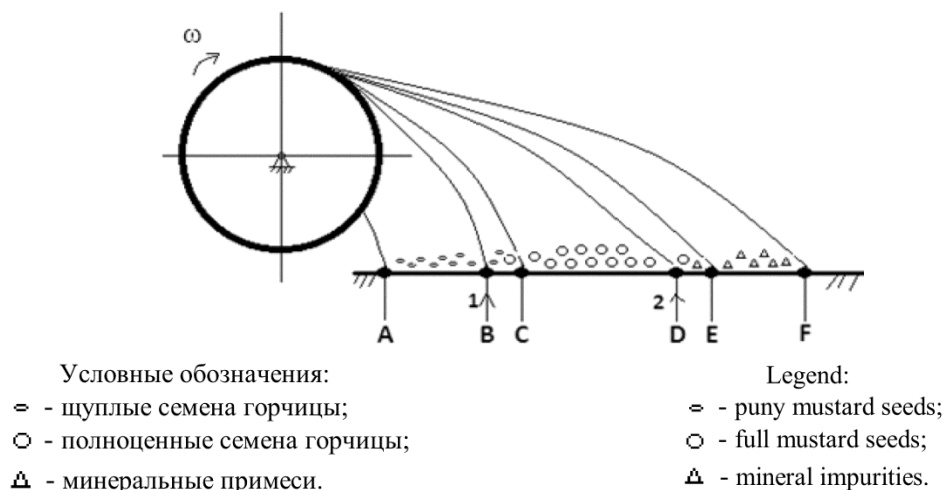


Рисунок 2 – Схема распределения вороха семян горчицы

Figure 2 - Distribution diagram of a heap of mustard seeds

На технологическом участке работы пневмомеханического сепаратора ДЕ расположен второй аналогичный емкостной датчик приближения точка 2, который отслеживает конечную границу потока семян горчицы и при его срабатывании выдает входной сигнал логическому контроллеру Modicon M241 на включение электропривода дроссельной заслонки трубопровода разряжения вакуумной установки. Повышение разряжения вакуумной установки позволяет приблизить конечную границу потока семенного материала в приемный бункер.

Для определения воздушного потока в конструкции предусмотрен воздушный кожух, жестко закрепленный на перфорированном воздуховоде. Положение кожуха менялось за счет поворота рукоятки, а соответственно менялось направление воздушного потока.

При определении скорости воздушного потока U_v к перфорированному воздуховоду подводился пневмопровод, отсасывающий из системы воздух для создания вакуума. Для установления влияния воздушного потока использовался кран-дозатор, с помощью которого менялась скорость воздуха [7].

Однофакторные эксперименты проводились с учетом выполнения технологического процесса очистки семян [9]. При этом, поскольку технологический процесс предусматривает одновременное действие двух факторов: скорости воздушного потока и ротора, то нами было принято соотношение скоростей ротора и воздушного потока:

$$\lambda_v = \frac{V_p}{U_v}$$

где V_p – окружная скорость ротора, м/с; U_v – скорость воздушного потока (вакуум) м/с.

При определении зависимостей потери семян от окружной скорости ротора, один из факторов U_B оставался величиной постоянной $U_B = const$, а второй V_p изменялся от минимальных до максимальных значений.

Точка минимума окружной скорости ротора определялась нами экспериментально исходя из условия удержания частиц на поверхности ротора за счет воздушного потока (вакуума), а точка максимума находилась при условии, что воздушный поток не удерживал семена. Разделения семенного вороха горчицы в первом и во втором случаях не происходило.

При увеличении окружной скорости ротора наблюдались приближенные кривые (рисунок 3), которые потом при определенных значениях V_p получали параболическую зависимость.

Анализируя изменения содержания тяжеловесных примесей, отмечаем, что их кривая представляет собой обратную зависимость относительно первой.

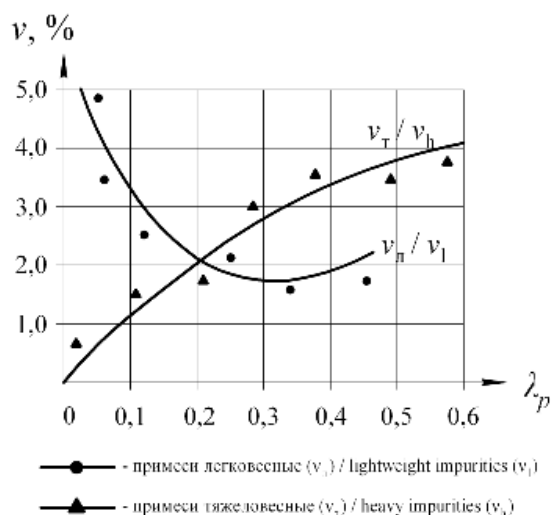


Рисунок 3 – Зависимость потери семян от окружной скорости ротора

Figure 3 – Dependence of seed loss on rotor peripheral speed

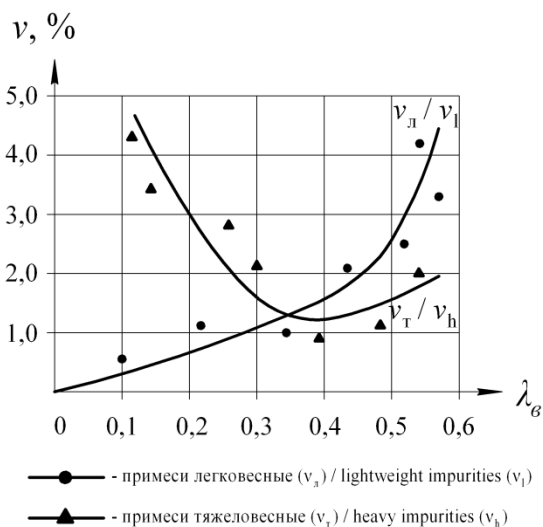


Рисунок 4 – Зависимость потери семян от скорости воздушного потока

Figure 4 – dependence of seed loss on air flow velocity

При определении зависимостей потери семян от скорости воздушного потока величиной постоянной была окружная скорость ротора $V_p = \text{const}$, при этом изменения скорости воздушного потока U_b было от минимальных до максимальных значений (рисунок 4). При минимальных значениях скорости воздушного потока частицы на поверхности ротора не удерживались, а при максимальных семена не успевали отрываться от поверхности ротора. Ворох горчицы при минимальных и максимальных значениях скорости воздушного потока не разделялся должным образом.

Исследования по определению зависимости потери семян от угла установки воздушного кожуха были направлены на нахождение оптимальных значений α , при которых легковесных и тяжеловесных примесей будет минимальное количество. По результатам проведенных опытов определены точки и построена аппроксимированная кривая (рисунок 5).

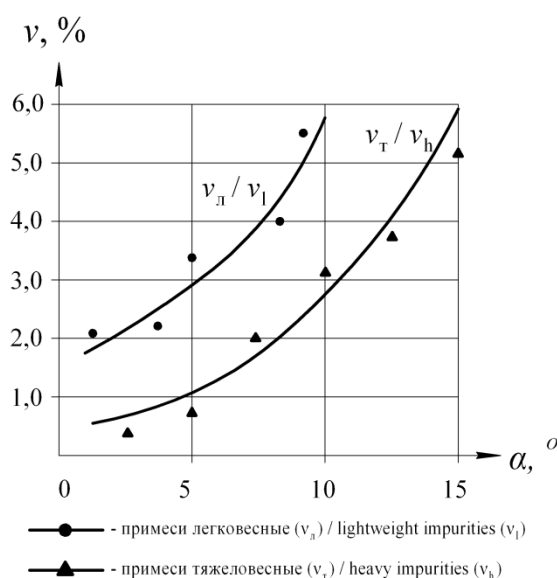


Рисунок 5 – Зависимость потери семян от угла установки воздушного кожуха

Figure 5 – dependence of seed loss on the angle of installation of the air casing

По результатам проведенных экспериментов найдены оптимальные параметры представленных ранее факторов. Для этого в соответствии с методикой построения плана Рехтшафнера приводится структура и оценочные показатели опытов (Мельников С.В., 1980).

Таблица 2 – Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Table 2 – Factors, their levels and intervals of variation

Факторы / Factors	Уровни фактора / Factor level			Интервал варьирования, ϵ / Interval variations, ϵ
	0	-1	+1	
x_1 – скорость воздушного потока (вакуум) U_b , м/с / x_1 – airspeed (vacuum) U_b , m/s	3,0	1,0	5,0	2,0
x_2 – окружная скорость ротора V_p , м/с / x_2 – rotor peripheral speed V_p , m/s	0,96	0,48	1,44	0,48
x_3 – угол установки воздушного кожуха α , град. / x_3 – installation angle of air casing α , degrees	10	5	15	5

В качестве выходных показателей на этапе лабораторно-полевых исследований были приняты выходные факторы, учитывающие качество выполнения операции, чистота Y_1 и потери Y_2 зерна, выраженные в процентах (Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В., 1976).

На основании экспериментальных данных по предложенной программе составлено уравнение регрессии:

$$y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_i x_j + \sum B_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Значимость коэффициентов уравнения (1) оценивалась по критерию Стьюдента. Незначимые коэффициенты удалялись и выполнялся повторный расчет коэффициентов регрессионной модели (Веденяпин Г. В., 1973). В результате расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$Y_1 = 96,7 + 0,5x_1 + 0,6x_2 + 0,7x_3 + 0,1x_1x_2 + 0,2x_1x_3 + 0,4x_2x_3 - 0,7x_1^2 - 1,3x_2^2 - 1,1x_3^2, \quad (2)$$

$$Y_2 = 5,37 - 0,89x_1 + 0,01x_2 - 0,59x_3 + 0,11x_1x_2 + 0,03x_1x_3 + 0,07x_2x_3 + 0,82x_1^2 + 0,78x_2^2 + 0,41x_3^2. \quad (3)$$

Заключение. Проведенные нами однофакторные эксперименты позволили определить точки резкого изменения кривых графически построенных зависимостей. Процесс разделения вороха семян горчицы связан с одновременным использованием воздушного потока и вращения ротора, поэтому принято комбинированное значение факторов, а именно, отношение скорости вращения ротора к скорости воздушного потока « λ ». Его значение в однофакторных экспериментах колеблется от 0,2 до 0,35 для оптимальных значений процентного содержания примесей, а угол установки воздушного кожуха составляет 7° .

При проведении многофакторного эксперимента, соотношение скоростей $\lambda=0,32$, а угол наклона воздушного кожуха $\alpha=10^\circ$. При этих значениях факторов количество примесей не превышает 3 %.

Библиографический список

1. Исследование эффективности очистки вороха яровой пшеницы на семенные цели воздушно-решетным сепаратором / В. И. Оробинский, А. М. Гиевский, А. П. Тарасенко, А. В. Чернышов, И. В. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 2 (61). С. 34-42.
2. Михальков Д. Е., Кочергина А. С. Влияние предпосевной обработки семян и норм высева на урожайность горчицы сизой при возделывании на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Аграрный научный журнал. 2017. № 3. С. 18-24.
3. Моделирование процессов послеуборочной обработки зерна и семян и технологии их подготовки / В. Д. Галкин, А. Д. Галкин, В. А. Хандриков, С. Е. Басалгин // Пермский аграрный вестник. 2018. № 3 (23). С. 19-29.
4. Обоснование принципиальной схемы воздушно-решетного сепаратора семян / А. П. Тарасенко, В. И. Оробинский, А. М. Гиевский, Д. С. Тарабрин, М. С. Анненков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (55). С. 95-102.
5. Подготовка высококачественных семян с использованием пневмосепараторов / А. И. Бурков, Г. А. Баталова, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 2 (57). С. 72-76.

6. Сороченко С. Ф., Тюленев Н. В. Исследование влияния проходного диаметра решета на полноту отделения примесей в пневмосепараторе // Проблемы науки. 2017. № 1 (14). С. 38-41.
7. Тарабрин Д. С. Совершенствование процесса послерешетной пневмосепарации зернового вороха в зерноочистительных машинах // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (51). С. 102-109.
8. Тарасенко А. П., Оробинский В. И. Совершенствование механизации производства семян // Сельский механизатор. 2019. № 8 (56). С. 14-15.
9. Цепляев А. Н., Габидулина А. Е., Харлашин А. В. Аналитическое определение абсолютной скорости семени мелкосемянных культур при разделении вороха на роторном сепараторе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. №2 (54). С. 338-346.
10. Цепляев А. Н., Габидулина А. Е. Пневмомеханический сепаратор для очистки вороха мелкосемянных культур // Сельский механизатор. 2019. № 7 (55). С. 14-16.
11. Astanakulov K., Karimov M. Working out and implementation of the safflower cleaning machine // European science review. 2016. № 3-4. P. 278-280.
12. Voropaeva N., Figovsky O., Beilin D. Nanotechnology in agriculture (review) // Scientific Israel - Technological Advantages. 2016. № 3. P. 3-50.

Reference

1. Issledovanie jeffektivnosti ochistki voroha yarovoj pshenicy na semennye celi vozdušno-reshetnym separatorom / V. I. Orobinskij, A. M. Gievskij, A. P. Tarasenko, A. V. Chernyshov, I. V. Baskakov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. Vol. 12. № 2 (61). P. 34-42.
2. Mihal'kov D. E., Kochergina A. S. Vliyanie predposevnoj obrabotki semyan i norm vyseva na urozhajnost' gorchicy sizoj pri vozdeleyvanii na svetlo-kashtanovyh pochvah Volgogradskoj oblasti // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2017. № 3. P. 18-24.
3. Modelirovanie processov posleuborochnoj obrabotki zerna i semyan i tehnologii ih podgotovki / V. D. Galkin, A. D. Galkin, V. A. Handrikov, S. E. Basalgin // Permskij agrarnyj vestnik. 2018. № 3 (23). P. 19-29.
4. Obosnovanie principial'noj sxemy vozdušno-reshetnogo separatora semyan / A. P. Tarasenko, V. I. Orobinskij, A. M. Gievskij, D. S. Tarabrin, M. S. Annenkov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 4 (55). P. 95-102.
5. Podgotovka vysokokachestvennyh semyan s ispol'zovaniem pnevmoseparatorov / A. I. Burkov, G. A. Batalova, A. L. Glushkov, V. A. Lazykin // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2017. № 2 (57). P. 72-76.
6. Sorochenko S. F., Tyulenev N. V. Issledovanie vliyaniya prohodnogo diametra resheta na polnotu otdeleniya primesej v pnevmoseparatore // Problemy nauki. 2017. № 1 (14). P. 38-41.
7. Tarabrin D. S. Sovershenstvovanie processa poslereshetnoj pnevmoseparacii zernovogo voroha v zernoochistitel'nyh mashinah // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 1 (51). P. 102-109.
8. Tarasenko A. P., Orobinskij V. I. Sovershenstvovanie mehanizacii proizvodstva semyan // Sel'skij mehanizator. 2019. № 8 (56). P. 14-15.
9. Ceplyaev A. N., Gabidulina A. E., Harlashin A. V. Analiticheskoe opredelenie absolyutnoj skorosti semeni melkosemyannyh kul'tur pri razdelenii voroha na rotornom separatore // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. №2 (54). P. 338-346.
10. Ceplyaev A. N., Gabidulina A. E. Pnevмомеханический сепаратор для очистки вороха мелкосемянных культур // Sel'skij mehanizator. 2019. № 7 (55). P. 14-16.
11. Astanakulov K., Karimov M. Working out and implementation of the safflower cleaning machine // European science review. 2016. № 3-4. P. 278-280.
12. Voropaeva N., Figovsky O., Beilin D. Nanotechnology in agriculture (review) // Scientific Israel - Technological Advantages. 2016. № 3. P. 3-50.

Информация об авторах

Цепляев Алексей Николаевич, профессор ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), доктор сельскохозяйственных наук,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1454-5784>. **E-mail:** can_volgau@mail.ru

Габидулина Айжан Есмагаловна, аспирант ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2302-5617>. **E-mail:** ayzhanochka@mail.ru

Харлашин Александр Владимирович, доцент ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), кандидат технических наук, **E-mail:** harlashin@list.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 697.43:727:373.24

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-34

**ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ
ОТОПЛЕНИЯ «ТЕПЛЫЙ ПОЛ» В ДЕТСКИХ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ
СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

**THE JUSTIFICATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF HEATING SYSTEM
«WARM FLOOR» IN PRE-SCHOOL FACILITIES OF
RURAL AREAS**

И. В. Юдаев, доктор технических наук, профессор
А. Н. Токарева, кандидат технических наук, доцент
Н. Н. Грачева, кандидат технических наук, доцент
С. В. Панченко, кандидат технических наук, доцент
Ю. В. Даус, кандидат технических наук, доцент

**I. V. Yudaev, A. N. Tokareva, N. N. Gracheva,
S. V. Panchenko, Yu. V. Daus**

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО Донской государственной аграрной университет

Azov-Black Sea Engineering Institute - the branch of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Don State Agrarian University»

Дата поступления в редакцию 15.10.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received 15.10.2019

Submitted 20.12.2019

Система отопления «теплый пол» является не только одним из основных требований норм технологического проектирования детских дошкольных учреждений, но и выступает как самостоятельное конструктивное решение, имеющее много достоинств: снижение энергетических затрат за счет автоматического регулирования параметров теплоносителя, равномерность распределения температуры в помещении, избавление от сквозняков, холодных углов и зон перегрева. При выборе имеющихся в продаже разнообразных конструкций с различными геометрическими параметрами возникает вопрос о том, какой из вариантов следует выбрать для того, чтобы обеспечить требуемые параметры воздуха в помещении при наименьших энергетических, а следовательно, и экономических затратах. Определить оптимальное сочетание таких геометрических параметров, как диаметр трубопровода и шаг его укладки, не представляется возможным, так как отсутствует единая методика расчета теплых полов и оценки влияния совместного взаимодействия этих факторов на теплофизические характеристики системы отопления. В связи с этим в статье рассмотрены вопросы обоснования параметров теплого пола на основе результатов многофакторного машинного эксперимента применительно к спальным комнатам детских садов. На основании полученного значения тепловой мощности определена величина требуемого теплового потока при нормируемой температуре поверхности обогреваемых полов; проведен трехфакторный машинный эксперимент с варьированием таких величин, как диаметр трубопровода, шаг его укладки и термическое сопротивление

строительной конструкции теплого пола. В результате получены математические модели зависимости теплового потока и температуры поверхности пола от теплотехнических и геометрических характеристик, а также представлены с помощью программы «*Statistica. Experimental Design*» графические интерпретации математических выражений. Для всех выбранных рациональных вариантов конструктивного исполнения системы «теплый пол» проведен гидравлический расчет и определены энергетические затраты. На основе технико-экономической оценки установлена схема системы отопления «теплый пол», обеспечивающая наименьшие экономические затраты в процессе эксплуатации.

The «warm floor» heating system is not only one of the basic requirements of the technological design standards of preschool institutions, but also as an independent constructive solution, which has many advantages: reducing energy costs due to automatic regulation of the heat carrier parameters, uniform distribution of temperature in the room, getting rid of drafts, cold corners and overheating zones. When choosing a variety of designs available for sale with different geometric parameters, the question arises: which option to choose in order to provide the required air parameters in the room at the lowest energy, and, consequently, economic costs. It is not possible to determine the optimal combination of such geometric parameters as the diameter of the pipeline and the step of laying it, since there is no single methodology for calculating warm floors and assessing the effect of the joint interaction of these factors on the thermophysical characteristics of the heating system. In this regard, the article considers the issues of substantiating the parameters of the warm floor based on the results of a multifactor machine experiment as applied to the bedrooms of kindergartens. From the obtained value of the heat power, the value of the required heat flux is determined at the normalized surface temperature of the heated floors; a three-factor machine experiment was conducted with variation of such values as the diameter of the pipeline, the step of its laying and the thermal resistance of the building structure of the «warm floor». As a result, mathematical models of the dependence of the heat flux and the temperature of the floor surface on the thermal and geometric characteristics are obtained; as well as represented using the program «*Statistica. Experimental Design*», graphical interpretations of mathematical expressions. For all the selected rational options for the design of the «warm floor» system, a hydraulic calculation was carried out and energy costs were determined. Based on the feasibility study, a heating floor heating system scheme has been established that provides the lowest economic costs during operation.

Ключевые слова: *теплый пол, микроклимат, тепловой поток, диаметр трубопроводов, шаг укладки трубопроводов, термическое сопротивление.*

Key words: *warm floor, microclimate, heat flux, diameter, step, thermal resistance.*

Цитирование. Юдаев И. В., Токарева А. Н., Грачева Н. Н., Панченко С. В., Даус Ю. В. Обоснование геометрических параметров системы отопления «теплый пол» в детских дошкольных учреждениях сельских территорий. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 290-300. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-34.

Citation. Yudaev I. V., Tokareva A. N., Gracheva N. N., Panchenko S. V., Daus Yu. V. The justification of geometric parameters of heating system «warm floor» in pre-school facilities of rural areas. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 290-300 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-34.

Введение. Обеспечение теплом учреждений социальной направленности, расположенных в том числе и на сельских территориях, является первоочередной задачей, которая особенно остро стоит в зимнее время года, ранней весной и поздней осенью [9, 10]. Среди факторов и тепловых условий внутренней среды такого рода помещений особо выделяется комплекс микроклиматических условий, оказывающих наиболее ощутимое физиологическое воздействие на человека, его самочувствие и работоспособность. Что же касается микроклимата в помещениях детских дошкольных учреждений, то комфортная температура воздуха и его влажность способствуют правильному развитию детей, снижают их заболеваемость, улучшают настроение и самочувствие.

В соответствии с требованиями СанПиН 252.1325800.2016 «Здания дошкольных образовательных организаций» нормируемые параметры микроклимата, в соответствии с ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата», достигаются посредством соответствующих систем отопления и вентиляции. При этом в спальнях помещений детских садов на первом этаже должны быть предусмотрены теплые полы.

Прототипы теплых полов использовались человеком еще во времена Древнего Рима, но настоящий бум применения данной системы для отопления приходится на наши дни. Так, например, спрос на водяные теплые полы в 2014 году вырос на 23% по отношению к 2013 году [7]. Это связано с тем, что еще совсем недавно выбор нагревательного элемента для теплоносителя – воды, ограничивался металлическими трубами, которые довольно трудно монтировались по стенам помещений и зачастую выглядели малоэстетично. Используемые в настоящее время металлопластиковые трубы и трубы из сшитого полиэтилена быстро нашли своего потребителя за счет удобства использования и низкой цены. Производители, выпускающие оборудование для данной системы обеспечения теплового режима, постоянно совершенствуют конструкции, сопутствующую арматуру и элементы с целью облегчения их монтажа и обеспечения максимального уровня экономии энергии.

Водяной теплый пол – весьма экономичная в эксплуатации инженерная система. Она обеспечивает комфортное распределение температуры, обладает возможностью очень точного регулирования температуры, решает проблемы с утеплением и звукоизоляцией полов, расширяет возможности дизайнерских решений. При использовании системы отопления «теплый пол» энергетические затраты снижаются на 20-25% по сравнению с традиционной настенной системой конвективного отопления.

Однако при выборе имеющихся в продаже разнообразных конструкций с различными геометрическими параметрами возникает вопрос: какой из представленных вариантов выбрать для того, чтобы обеспечить требуемые параметры воздуха в помещении при наименьших энергетических, а следовательно, и экономических затратах. Опытные монтажники [8] подчеркивают, что предлагаемые многочисленные программы расчета параметров теплых полов и распространенные во всемирной паутине методики имеют такой недостаток, как усредненные значения коэффициентов теплоотдачи и тепловых потоков от теплых полов, что в конечном итоге приводит к увеличению «витиеватости» укладки труб. Поэтому специалисты предпочитают использовать классические методы расчета [7, 8, 14] и считать величины теплоотдачи полов и гидравлические сопротивления по традиционным методикам.

При проектировании системы отопления «теплый пол» необходимо учитывать геометрические характеристики монтажных элементов для обеспечения требуемого теплового потока при минимальных затратах. Ответ на вопрос, какой шаг укладки и диаметр трубопровода выбрать, остается открытым, так как нигде не учитывается совместное влияние этих факторов на величину теплоотдачи теплого пола.

Основной целью предложенного исследования является определение сочетания геометрических параметров системы отопления «теплый пол» в детских дошкольных сооружениях, при которых обеспечиваются наименьшие энергетические и экономические затраты.

Материалы и методы. На основании проведенного анализа научных исследований и рекомендации производителей [1, 3, 5, 6, 11-13] была составлена методика расчёта теплого пола, которая представлена в работе. Из полученных аналитических зависимостей следует, что основные теплофизические характеристики теплого пола – плотность теплового потока q_1 и средняя температура поверхности пола t_{cp} – можно представить в виде функций:

$$q_1 = f(b, d, R), \quad (1)$$

$$t_{cp} = f(b, d, R), \quad (2)$$

где b – шаг укладки трубопроводов, м; d – наружный диаметр трубопроводов соответственно, м; R – термическое сопротивление конструкции «теплый пол», (м²·°C)/Вт.

С учетом этих трех факторов был проведен машинный эксперимент по определению рационального сочетания параметров системы отопления «теплый пол» применительно к спальню комнате типового детского сада, расположенного на территории сельского района в Ростовской области. Характеристика рассматриваемого помещения представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика спальни комнаты детского сада и системы ее отопления

Table 1 – Characteristics of the kindergarten bedroom and its heating system

Наименование показателя/ Name of indicator	Значение / Value
Размеры помещения (длина, ширина, высота), м / Room dimensions (length, width, height), m	9x6x3,6
Требуемая тепловая мощность по результатам калорического расчета, Вт / Required thermal power according to the caloric calculation results, W	4050
Требуемая плотность теплового потока, Вт/м ² / The required heat flux density, W/m ²	75
Температура теплоносителя в системе отопления «теплый пол» в соответствии с рекомендациями (СанПиН 252.1325800.2016 «Здания дошкольных образовательных организаций»; ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата»), °C / The temperature of the coolant in the “warm floor” heating system in accordance with the recommendations (SanPiN 252.1325800.2016 “Buildings of preschool educational organizations”; GOST 30494-2011 “Residential and public buildings. Climate parameters”), °C	
на входе /at the inlet	54
на выходе/at the output	45
Средняя температура поверхности системы отопления «теплый пол» согласно нормам проектирования, не выше, °C (ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата») / The average surface temperature of the “warm floor” heating system according to design standards, not higher than, °C (GOST 30494-2011 “Residential and public buildings. Microclimate parameters)	26
Способ укладки трубопроводов / The method of laying pipelines	«улитка» / «snail»

При использовании схемы укладки в форме «улитки» обеспечивается более равномерный нагрев всей поверхности пола по сравнению со способом укладки в форме «змейки», что является весьма существенным фактором для помещений детских дошкольных учреждений.

Интервалы варьирования для реализации трехфакторного эксперимента на двух уровнях были приняты из следующих соображений. Первый фактор – это шаг укладки b , который изменялся от 0,1м до 0,4м с учетом характеристик выпускаемых конструкций трубопроводов для теплых полов [3, 4]. Аналогичным образом были выбраны и интервалы варьирования второго фактора – наружного диаметра трубопровода. Наименьший диаметр трубопровода составил $d=0,016$ м, максимальный – $d=0,032$ м.

Уровни варьирования третьего фактора – термическое сопротивление теплого пола – были рассчитаны для наиболее характерных конструкций [3, 4, 5], представленных на рисунке 1, по формуле:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (3)$$

где δ_i – толщина i -го слоя пола, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя, Вт/(м·°С).

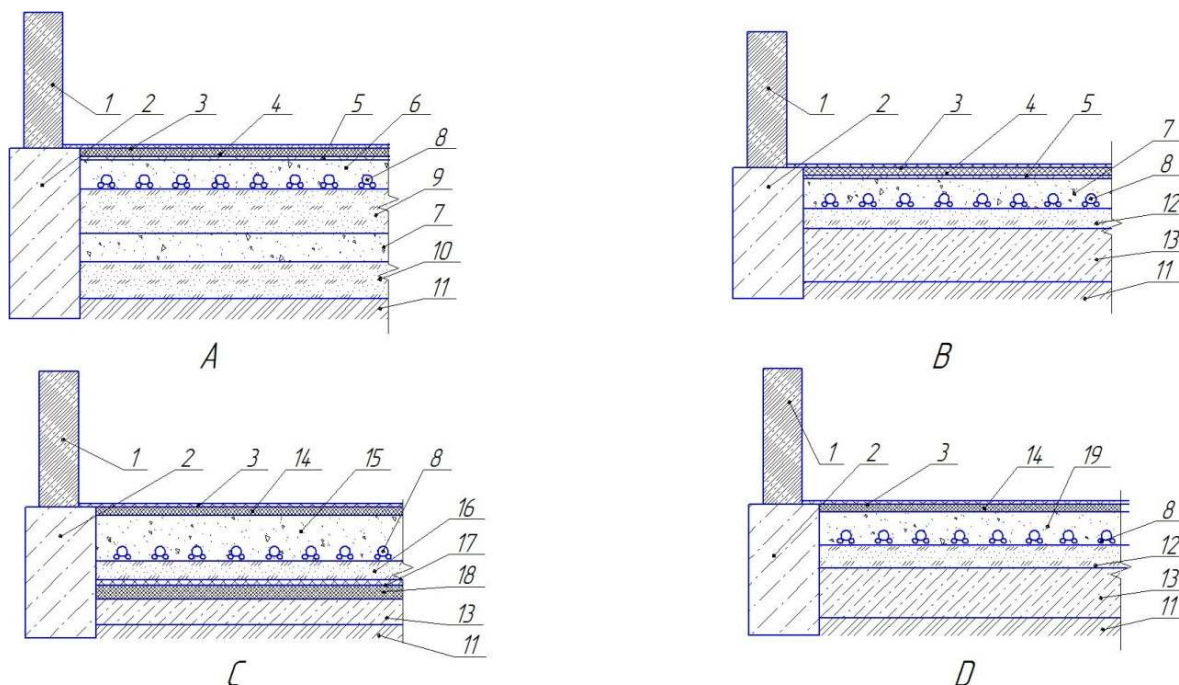


Рисунок 1 – Конструкции теплого пола:

- 1 – стена; 2 – фундамент; 3 – ковровое покрытие $\delta=0,07$ м; 4 – напольное покрытие ламинат $\delta=0,02$ м; 5 – подложка под ламинат $\delta=0,02$ м; 6 – цементно-песчаная стяжка $\delta=0,06$ м;
7 – цементно-песчаная стяжка $\delta=0,05$ м; 8 – труба $d=0,016$ м; 9 – полистирол $\delta=0,11$ м;
10 – полистирол $\delta=0,05$ м; 11 – грунт; 12 – пеноплекс $\delta=0,03$ м; 13 – бетонная плита $\delta=0,2$ м;
14 – напольное покрытие линолеум $\delta=0,02$ м; 15 – цементно-песчаная стяжка $\delta=0,95$ м;
16 – пенополистирол $\delta=0,05$ м; 17 – пенополиэтилен $\delta=0,004$ м; 18 – пенополиэтиленовая пленка $\delta=0,004$ м; 19 – цементно-песчаная стяжка $\delta=0,65$ м

Figure 1 – Underfloor Structures:

- 1 – wall; 2 – foundation; 3 – carpet covering $\delta=0,07$ m; 4 – laminate flooring $\delta=0,02$ m; 5 – substrate for laminate $\delta=0,02$ m;
6 – cement-sand screed $\delta=0,06$ m;
7 – cement-sand screed $\delta=0,05$ m; 8 – pipe $d=0,016$ m; 9 – polystyrene $\delta=0,11$ m;
10 – polystyrene $\delta=0,05$ m; 11 – ground; 12 – penoplex $\delta=0,03$ m; 13 – concrete slab $\delta=0,2$ m;
14 – linoleum flooring $\delta=0,02$ m; 15 – cement-sand screed $\delta=0,95$ m;
16 – polystyrene foam $\delta=0,05$ m; 17 – polyethylene foam $\delta=0,004$ m; 18 – polyethylene foam film $\delta=0,004$ m; 19 – cement-sand screed $\delta=0,65$ m

По результатам вычислений минимальным термическим сопротивлением $R_{min}=0,178$ (м²·°С)/Вт обладает конструкция D, а максимальное термическое сопротивление $R_{max}=0,215$ (м²·°С)/Вт является теплофизической характеристикой конструкции A.

Трехфакторный машинный эксперимент по определению других теплофизических характеристик системы отопления «теплый пол» был выполнен по типовой матрице планирования [2]. Результаты реализации многофакторного эксперимента представлены в таблице 2. В скобках указаны уровни варьирования. Нижний уровень указывается со знаком (–), верхний – со знаком (+).

Таблица 2 – Результаты реализации трехфакторного эксперимента

Table 2 – Results of the three-factor experiment

Шаг укладки трубопроводов $b, м$ Pipe laying step b, m	Диаметр трубопровода $d, м$ Pipe diameter d, m	Термическое сопротивление конструкции $R, (м^2 \cdot ^\circ C) / Вт$ Thermal resistance of the structure $R, (m^2 \cdot ^\circ C) / W$	Плотность теплового потока $q_1, Вт/м^2$ Heat flux density $q_1, W/m^2$	Средняя температура поверхности пола $t_{cp}, ^\circ C$ Average floor surface temperature $t_{sr}, ^\circ C$
0,4 (+)	0,032 (+)	0,215 (+)	69,63	24,79
0,4 (-)	0,032 (+)	0,178 (+)	76,55	25,28
0,1 (+)	0,032 (-)	0,215 (+)	77,36	26,78
0,1 (-)	0,032 (-)	0,178 (+)	87,58	27,66
0,4 (+)	0,016 (+)	0,215 (-)	70,07	24,72
0,4 (-)	0,016 (+)	0,178 (-)	77,19	25,21
0,1 (+)	0,016 (-)	0,215 (-)	77,484	26,66
0,1 (-)	0,016 (-)	0,178 (-)	87,78	26,09

Результаты и обсуждение. Полученные числовые массивы были обработаны с помощью программы «Statistica. Experimental Design». В результате обработки получили зависимости, графическая интерпретация которых представлена на рисунках 2-7.

Поверхность отклика изменения теплового потока от геометрических и теплофизических характеристик теплового пола представляет собой «возвышающийся гребень», соответствующий следующей целевой функции с коэффициентом детерминации $R^2=0,99$:

$$q_1 = 144,398 - 84,628b - 299,142R - 85,148 \cdot b \cdot d + 285,099b \cdot R \quad (4)$$

Как видно из представленных графических зависимостей, полученная функция не имеет экстремума в рассматриваемых областях аргументов. Плотность теплового потока q_1 возрастает с увеличением диаметра трубопровода и уменьшением шага укладки и величины термического сопротивления слоев, расположенных над отопительными элементами. При этом наименьшее влияние на изменение теплового потока оказывает диаметр нагревательных труб.

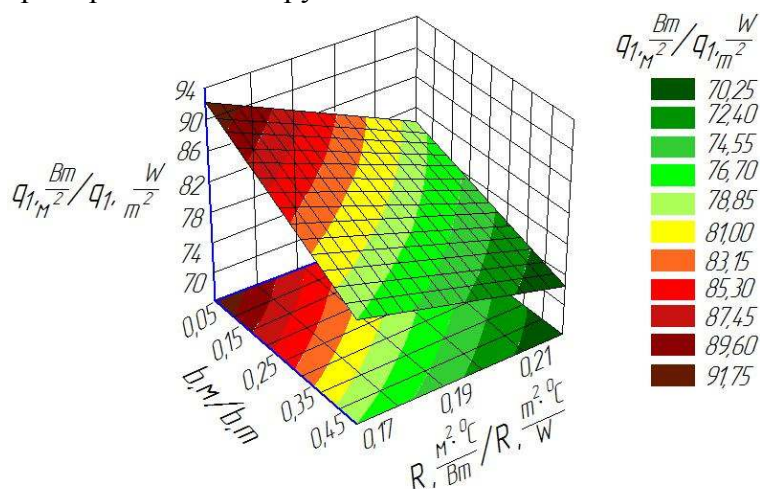


Рисунок 2 – Поверхность отклика зависимости теплового потока (q_1) от термического сопротивления (R) и шага укладки (b) при постоянном диаметре трубопровода ($d=0,016 м$)

Figure 2 – The response surface of the heat flux dependence (q_1) on the thermal resistance (R) and pipe laying step (b) at constant pipeline diameter ($d=0,016 m$)

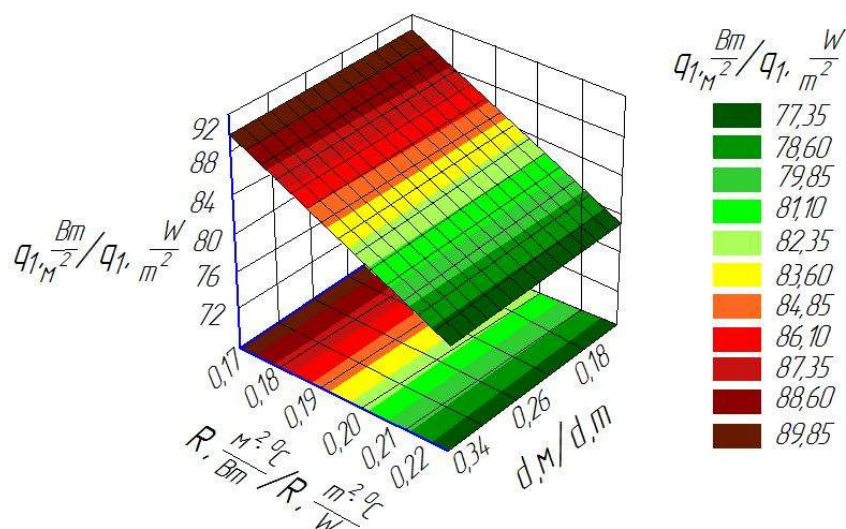


Рисунок 3 – Поверхность отклика зависимости теплового потока (q_1) от термического сопротивления (R) и диаметра трубопровода (d) при постоянном шаге ($b=0,1$ м)

Figure 3 – The response surface of the heat flux dependence (q_1) on the thermal resistance (R) and pipe laying step (b) at the constant step ($b = 0,1$ m)

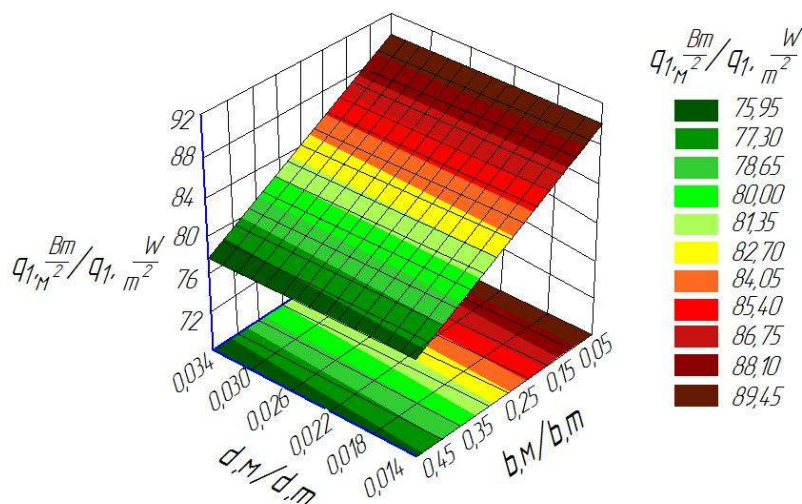


Рисунок 4– Поверхность отклика зависимости теплового потока (q_1) от диаметра трубопровода (d) и шага укладки (b) при постоянном термическом сопротивлении ($R=0,178$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт)

Figure 4 – The response surface of the heat flux dependence (q_1) on the thermal resistance (R) and pipe laying step (b) at the constant thermal resistance ($R=0.178$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W)

Поверхность отклика изменения средней температуры поверхности отопляемого пола представляет собой также возвышающийся гребень без экстремума в рассматриваемой области машинного эксперимента, как и для зависимости теплового потока. Математическое выражение изменения средней температуры имеет вид:

$$t_{cp} = 33,2 - 14,174b - 27,06R + 35,49b \cdot R . \quad (5)$$

В уравнении регрессии (5) отсутствует такой аргумент, как диаметр трубопровода. Это говорит о том, что и на среднюю температуру пола диаметр влияния не оказывает. В выражении (5) значимы эффекты взаимодействия шага укладки и диаметра трубопровода и шага укладки и термического сопротивления.

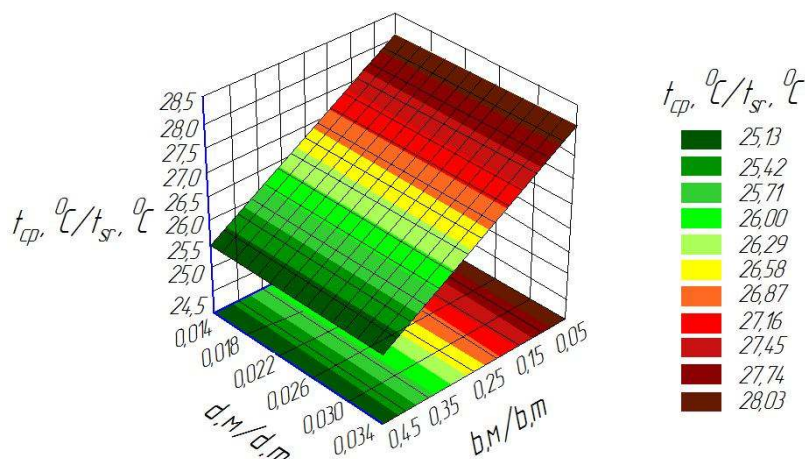


Рисунок 5 – Поверхность отклика зависимости средней температуры (t_{cp}) от диаметра трубопровода и шага укладки при постоянном термическом сопротивлении ($R=0,178 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$)

Figure 5 – The response surface of the average temperature dependence (t_{sr}) on the pipeline diameter and the laying pitch at the constant thermal resistance ($R=0,178 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$)

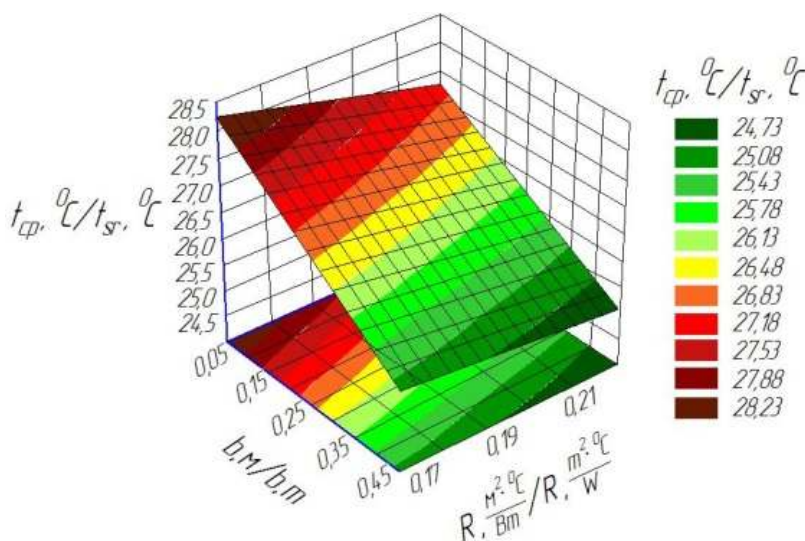


Рисунок 6 – Поверхность отклика зависимости средней температуры (t_{cp}) от термического сопротивления пола (R) и шага укладки (b) при постоянном диаметре трубопровода ($d=0,016 \text{ м}$)

Figure 6 – The response surface of the average temperature dependence (t_{sr}) on the thermal resistance of the floor (R) and pipe laying step (b) at constant pipeline diameter ($d=0,016 \text{ м}$)

Так как полученные математические модели не имеют экстремума, определить рациональные сочетания диаметра трубопровода и шага его укладки, непосредственно используя представленные выражения (4) и (5), нельзя. Однако в дальнейшем данные зависимости были использованы для определения величин теплового потока и средней температуры поверхности пола. В результате расчетов по уравнениям (4) и (5) были выбраны варианты, обеспечивающие требуемую тепловую мощность при соблюдении нормируемой температуры поверхности пола (таблица 1). Характеристика выбранных вариантов представлена в таблице 3. Так как диаметр трубопровода существенного влияния на плотность теплового потока и температура пола существенного влияния не оказывает, то были рассмотрены только варианты с использованием трубы с наружным диаметром.

Таблица 3 – Характеристика вариантов конструктивного исполнения системы отопления
«теплый пол»

Table 3 – Characteristics of design options for the “warm floor” heating system

Вариант исполнения / Design options	Термическое сопротивление конструкции R , ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт / Thermal resistance of the structure R , ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/W	Шаг укладки трубопроводов b , м / Pipe laying step b , m	Плотность теплового потока q_1 , Вт/ m^2 / Heat flux density q_1 , W/ m^2	Тепловой поток Φ , Вт / Heat flow Φ , W
1	0,178	0,4	77,05	4160,90
2	0,183	0,4	76,14	4111,68
3	0,215	0,2	76,26	4117,91
4	0,215	0,2	75,03	4051,60

Для всех вариантов укладки теплого пола, представленных в таблице 3, по традиционно используемой методике был проведен гидравлический расчет. Наименее энергоемким оказался вариант 3. Требуемая мощность насоса при исполнении системы отопления по данному варианту составляет 2,3 кВт. Наибольшие энергетические затраты получаются при использовании системы отопления, выполненной по варианту 1. Они почти в 2 раза превышают затраты энергии на перемещение теплоносителя по сравнению с вариантом 3.

Для всех четырех выбранных вариантов была рассчитаны статические показатели экономической эффективности [4]. Наименьшие приведенные затраты получаются также при использовании системы отопления «теплый пол», выполненной по варианту 3 (рисунок 7).

Таким образом, для рассматриваемого помещения детского сада наиболее рациональным вариантом конструктивного исполнения является следующая схема. Трубопроводы диаметром $d_n=0,016$ м укладываются с шагом $b=0,2$ м в форме «улитка» на слой полистирола и заливаются слоем песчано-цементной стяжки высотой 0,06 м (конструкция А, рисунок 1).



Рисунок 7 – Изменение приведенных затрат в зависимости от варианта конструктивного исполнения системы отопления «теплый пол»

Figure 7 – Reduced cost dependence on design options for the “warm floor” heating system

Заключение. Анализ полученных моделей позволил установить, что на изменение теплового потока q_1 и средней температуры пола t_{cp} диаметр существенного влияния не оказывает. Значимыми факторами для получения необходимых теплотехнических показателей являются строительная конструкция пола (термическое сопротивление) и шаг укладки. Используя полученные аналитические зависимости, установили 4

варианта сочетания конструктивных и теплотехнических характеристик, при которых обеспечивается необходимая величина теплового потока. На основе проведенной технико-экономической оценки установлен наиболее рациональный вариант конструктивного исполнения системы отопления «теплый пол», выполненный по схеме А с диаметром трубопровода $d_n=0,016$ м и шагом укладки $b=0,2$ м. Представленная последовательность обоснования геометрических параметров системы отопления «теплый пол» в детских дошкольных учреждениях, в том числе и на сельских территориях, может быть успешно использована на стадии проектирования и предмонтажной оценки.

Библиографический список

1. Верховинский И. Л., Яблонский Е. Ю., Бундигов А. В. Современные энергосберегающие отопительные системы с использованием теплого пола // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. № 1 (170). С. 42-45.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
3. Захаров А. А., Малых В. В., Удалов С. Н. Система теплого пола в автономных ресурсосберегающих домах и объектах сельскохозяйственного назначения // Ползуновский вестник. 2011. № 2-1. С. 101-106.
4. Игошин Н. В. Инвестиции. Организация, управление, финансирование. М.: Юнити-Дана, 2015. 448 с.
5. Лепеш Г. В., Спроге Г. А., Одиногорец Ю. В. Имитационное моделирование дифференцированного обогрева вентилируемого помещения комплексом современных отопительных приборов // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. №1(31). С. 31-37.
6. Низовцев М. И., Сахаров И. А. Расчет взаимного влияния тепловых и конструктивных параметров водяного теплого пола // Ползуновский вестник. 2013. № 4-3. С. 33-37.
7. Николаев С. В. Водяной теплый пол со стальным характером [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://sst.ru/press/expert-articles_09.11.2019.
8. Усталов Д. С. Теплые полы. Личный опыт // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 10. С. 46-52.
9. Чайка Л. В. Приоритеты модернизации энергетической инфраструктуры в сельской местности Республики Коми // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2015. №2(38). С. 104-115.
10. Энкина Е. В. Состояние и перспективы развития инженерной инфраструктуры сельских территорий России // Вестник ФГБОУ ВО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2017. №4(80). С. 61-65.
11. A new simplified model to calculate surface temperature and heat transfer of radiant floor heating and cooling systems / X. Wua, J. Zhao, B. W. Olesen, L. Fang, F. Wang // Energy and Buildings. 2015. №105. P. 285-293.
12. Geothermal heat pump in the passive house concept / V. A. Kostenko, N. M. Gafiyatullina, A. A. Semchuk, M. I. Kukolev // Magazine of Civil Engineering. 2016. №8. P. 18-25. (DOI: 10.5862/MCE.68.2).
13. Passive houses in Finland / T. Dzhigit, J. Dürr, J. Tuunanen, M. Luoma // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. №8 (13). P. 12-14.
14. Yang L., Yan H., Lam J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications – a review // Applied Energy. 2014. №115. P. 164-173.

Reference

1. Verhovinskij I. L., Yablonskij E. Yu., Bundikov A. V. Sovremennye jnergosberegayuschie otopitel'nye sistemy s ispol'zovaniem teplogo pola // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tehnicheskie nauki. 2013. № 1 (170). P. 42-45.
2. Dospheov B. A. Metodika polevogo opyta. M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. 352 p.
3. Zaharov A. A., Malyh V. V., Udalov S. N. Sistema teplogo pola v avtonomnyh resursosberegayuschih domah i ob'ektah sel'skohozyajstvennogo naznacheniya // Polzunovskij vestnik. 2011. № 2-1. P. 101-106.
4. Igoshin N. V. Investicii. Organizaciya, upravlenie, finansirovanie. M.: Yuniti-Dana, 2015. 448 p.

5. Lepesh G. V., Sproge G. A., Odnodvorec Yu. V. Imitacionnoe modelirovanie differencirovannogo obogreva ventiliruemogo pomeshcheniya kompleksom sovremennyh otopitel'nyh priborov // *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa*. 2015. №1(31). P. 31-37.
6. Nizovcev M. I., Saharov I. A. Raschet vzaimnogo vliyaniya teplovyh i konstruktivnyh parametrov vodyanogo teplogo pola // *Polzunovskij vestnik*. 2013. № 4-3. P. 33-37.
7. Nikolaev S. V. Vodyanoj teplyj pol so stal'nym harakterom [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: URL: <https://sst.ru/press/expert-articles> 09.11.2019.
8. Ustalov D. S. Teplye poly. Lichnyj opyt // *Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie*. 2014. № 10. P. 46-52.
9. Chajka L. V. Prioritety modernizacii jenergeticheskoy infrastruktury v sel'skoj mestnosti Respubliki Komi // *Jekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz*. 2015. №2(38). P. 104-115.
10. Jenkina E. V. Sostoyanie i perspektivy razvitiya inzhenernoj infrastruktury sel'skih territorij Rossii // *Vestnik FGBOU VO "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V. P. Goryachkina"*. 2017. №4(80). P. 61-65.
11. A new simplified model to calculate surface temperature and heat transfer of radiant floor heating and cooling systems / X. Wua, J. Zhao, B. W. Olesen, L. Fang, F. Wang // *Energy and Buildings*. 2015. №105. P. 285-293.
12. Geothermal heat pump in the passive house concept / V. A. Kostenko, N. M. Gafiyatullina, A. A. Semchuk, M. I. Kukolev // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. №8. P. 18–25. (DOI: 10.5862/MCE.68.2).
13. Passive houses in Finland / T. Dzhigit, J. Dürr, J. Tuunanen, M. Luoma // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. №8 (13). P. 12-14.
14. Yang L., Yan H., Lam J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications – a review // *Applied Energy*. 2014. №115. P. 164-173.

Информация об авторах

Юдаев Игорь Викторович, заместитель директора по научной работе Азово-Черноморского инженерного института – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской государственной аграрный университет (347740, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), профессор кафедры «Теплоэнергетика и техносферная безопасность», доктор технических наук, профессор.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3435-4873>. E-mail: etsh1965@mail.ru

Токарева Анна Николаевна, доцент кафедры «Теплоэнергетика и техносферная безопасность» Азово-Черноморского инженерного института – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской государственной аграрный университет (347740, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), кандидат технических наук, доцент

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0383-7039>. E-mail: e-mail:tanna_ing@mail.ru

Грачева Наталья Николаевна, доцент кафедры «Математика и биоинформатика» Азово-Черноморского инженерного института – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской государственной аграрный университет (347740, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), кандидат технических наук, доцент

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3699-7255>. E-mail: grann72@mail.ru

Панченко Сергей Николаевич, доцент кафедры «Теплоэнергетика и техносферная безопасность» Азово-Черноморского инженерного института – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской государственной аграрный университет (347740, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), кандидат технических наук, доцент

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9198-1603>. E-mail: panchenkosergey@mail.ru

Даус Юлия Владимировна, инженер Азово-Черноморского инженерного института – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Донской государственной аграрный университет (347740, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), кандидат технических наук

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9120-7637>. E-mail: zirochka2505@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЮБКИ ПОРШНЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

EXPERIMENTAL STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE PISTON SKIRT OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

С. В. Смирнов¹, кандидат технических наук, доцент
В. В. Копылов¹, кандидат технических наук, доцент
А. Р. Макаров¹, кандидат технических наук, профессор.
А. А. Воробьев¹, аспирант, **К. В. Шкарин¹**, ассистент
И. А. Успенский², доктор технических наук, профессор
И. А. Юхин², доктор технических наук, доцент
А. И. Ушанев², кандидат технических наук, старший преподаватель
О. В. Филюшин², магистрант

**S. V. Smirnov¹, V. V. Kopylov¹, A. R. Makarov¹, A. A. Vorobiev¹, K. V. Shkarin¹,
I. A. Uspensky², I. A. Yukhin², A. I. Ushanev², O. V. Filyushin²**

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва

²Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева,
г. Рязань

«People's Friendship University of Russia», Moscow, Russia

«Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev», Ryazan, Russia

Дата поступления в редакцию 8.10.2019

Дата принятия к печати 16.12.2019

Received 8.10.2019

Submitted 16.12.2019

Представлены результаты расчетного и экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния юбки составного поршня при приложении точечных нагрузок в зоне действия боковой силы. Ранее авторами была разработана методика профилирования юбки поршня на основе определения условия смазывания в сопряжении юбка поршня-цилиндр и реализована математическая модель динамики движения поршня. Данная модель позволяет на стадии проектирования проводить исследования влияния на динамику движения поршня и условия смазывания поверхностей трения и соответственно механических потерь различных конструктивных параметров деталей КШМ (размеры, масса, момент инерции, распределение жесткости, расположения центра масс поршня и шатуна и т.д.), монтажного зазора в сопряжении юбка поршня-цилиндр, свойств моторного масла для различных режимов работы двигателя. Одной из основных задач в данной модели является расчет деформаций от гидродинамических давлений масляного слоя. Расчетное исследование по определению напряженно-деформированного состояния поршня выполнялось на пространственной модели с помощью метода конечных элементов. Для верификации конечно-элементной модели авторами был разработан стенд для экспериментальных исследований. В статье приводится описание стенда и методика проведения экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния юбки составного поршня, полученных на данном стенде, и сравнительный анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния юбки составного поршня дизеля. Измерение деформации юбки поршня от воздействия нагрузки выполнялись как тензорезисторами, так и с помощью индикаторов часового типа. Тензометрические измерения проводились с помощью тензостанции ZET017-T8 и тензорезисторов ТКБ01-5-100-23. Результаты исследования показали, что разработанный стенд может применяться для верификации математических моделей расчета напряженно-деформированного состояния юбки поршня в опытно-производстве поршней ДВС для ускорения и удешевления процесса разработки конструкции поршня, а также результаты экспериментальных исследований, полученные на стенде, могут быть использованы в качестве исходных данных для разработанной авторами ранее математической модели динамики движения поршня и профилирования юбки поршня.

Presents the results of a calculated and experimental study of the stress-strain state of the skirt of a composite piston under the application of point loads in the zone of lateral force. Previously, the authors developed a method for profiling a piston skirt based on the definition of the lubrication condition in the conjugation of a piston skirt-cylinder and implemented a mathematical model of the dynamics of the piston motion. This model allows at the design stage to conduct studies on the influence on the dynamics of the piston motion and the lubrication conditions of the friction surfaces and, accordingly, the mechanical losses of various structural parameters of crank mechanism (dimensions, mass, moment of inertia, distribution of stiffness, location of the center of mass of the piston and connecting rod, etc.) , mounting clearance in conjugation of the piston-cylinder skirt, engine oil properties for various engine operating modes. One of the main tasks in this model is the calculation of deformations from the hydrodynamic pressures of the oil layer. A computational study to determine the stress-strain state of the piston was carried out on a spatial model using the finite element method. To verify the finite element model, the authors developed a stand for experimental studies. The article describes the stand and the methodology for conducting experimental studies of the stress-strain state of the composite piston skirt obtained at this stand and a comparative analysis of the results of design and experimental studies of the stress-strain state of the composite piston skirt of a diesel engine. The measurement of the deformation of the piston skirt from the effects of the load was carried out both by strain gauges and using dial gauges. Strain measurements were carried out using a strain gauge ZET017-T8 and strain gauges TKB01-5-100-23. The research results showed that the developed stand can be used to verify mathematical models for calculating the stress-strain state of the piston skirt in the pilot production of pistons of internal combustion engines to accelerate and reduce the cost of the piston design development process, and the experimental results obtained at the stand can be used as initial data for the previously developed mathematical model of the dynamics of the piston movement and the profiling of the piston skirt.

Ключевые слова: дизель, составные поршни, напряженно-деформированное состояние, гидродинамические характеристики трения, цилиндро-поршневая группа, трение.

Key words: diesel, composite piston, stress-strain state, hydrodynamic characteristics of friction, cylinder-piston group, friction.

Публикация подготовлена при государственной поддержке в рамках Программы РУДН Проекта 5-100. Цель Проекта 5-100 – максимизация конкурентной позиции группы ведущих российских университетов на глобальном рынке образовательных услуг и исследовательских программ

Цитирование. Смирнов С. В., Копылов В. В., Макаров А. Р., Воробьев А. А., Шкарин К. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Ушанев А. И., Филлюшин О. В. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния юбки поршня двигателя внутреннего сгорания. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 301-311. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-35.

Citation. Smirnov S. V., Kopylov V. V., Makarov A. R., Vorobyev A. A., Shkarin K. V., Uspenskii I. A., Iukhin I. A., Ushanev A. I., Filiushin O. V. Experimental study of the stress-strain state of the piston skirt of the internal combustion engine. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 301-311 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-35.

Введение. Современными тенденциями развития ДВС являются повышение его энергетических характеристик, уменьшение количества вредных выбросов и увеличение ресурса ДВС, что требует тщательной проработки конструкции всех систем и механизмов ДВС [7]. Цилиндропоршневая группа является основным узлом трения в двигателе, на которую приходится основная часть механических потерь и поэтому ее работа должна рассматриваться с точки зрения трибологии при обязательном обеспечении прочности и надежности работы [1, 3, 4, 9, 10, 11].

В статьях [2, 6] авторами была представлена разработанная математическая модель динамики движения поршня как монолитного, так и составного с учетом решения упруго-гидродинамической задачи для направляющей части поршня и особенностей

конструкции поршня. Разработанная математическая модель позволяет на стадии проектирования проводить исследования влияния на динамику движения поршня и условия смазывания поверхностей трения и соответственно механических потерь различных параметров: конструктивных параметров деталей КШМ (размеры, масса момент инерции, распределение жесткости и т.д.), монтажного зазора в сопряжении юбка поршня-цилиндр, свойств моторного масла для различных режимов работы двигателя.

Данная модель может быть использована при профилировании юбки поршня с учетом деформирования ее профиля от воздействующих нагрузок для разработки конструкции поршня, обеспечивающей необходимую надежность в условиях воздействия высоких динамических, механических и тепловых нагрузок при минимальной массе, высокой износостойкости контактных поверхностей, низких потерях на трение.

Упруго-гидродинамическая задача является центральной в данной математической модели. При расчете деформаций используется метод конечных элементов (МКЭ). Для экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния юбки поршня и верификации модуля расчета деформаций поршня от воздействующих нагрузок был разработан специальный стенд.

Материалы и методы. Объектом исследования была юбка составного поршня дизеля. Составные поршни совмещают в себе преимущества поршней, изготовленных из стали (чугуна) и алюминиевых поршней, такие как:

1. Головка составного поршня, выполненная из стали или чугуна обладает низким коэффициентом линейного расширения, что позволяет уменьшить зазор между головкой поршня и гильзой цилиндра. Это качество положительно сказывается на уплотнении цилиндра и уменьшении токсичности отработавших газов.

2. Юбка поршня, выполненная из алюминиевых сплавов, позволяет снизить общую массу поршня, обеспечить более благоприятные условия трения, тем самым снизить потери на трение, повысить безотказность работы за счет предотвращения склонности трущихся поверхностей к задирам и натирам.

3. Отсутствие прямой теплопередачи от головки поршня к юбке поршня позволяет уменьшить уровень температур юбки поршня и монтажный зазор пары трения юбка поршня-гильза цилиндра.

Изображение рассматриваемого поршня представлено на рисунке 1.

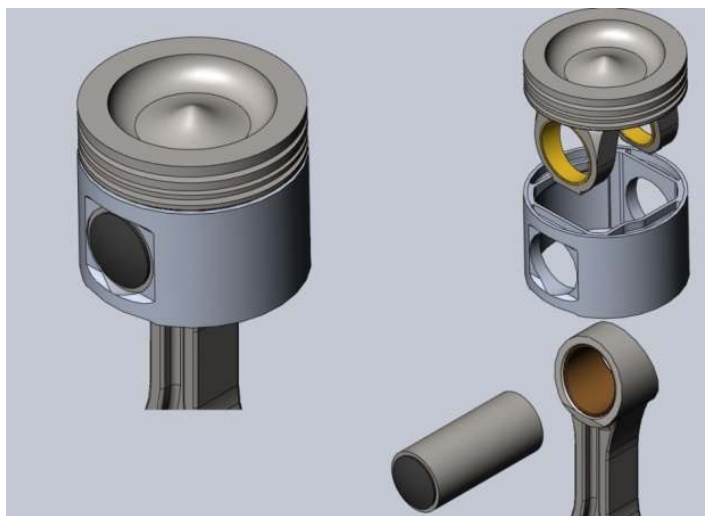


Рисунок 1 – Конструкция рассматриваемого поршня

Figure 1 – Piston design

Результаты и обсуждение. При проектировании стенда учитывались возможные габариты исследуемых поршней, диаметром от 60 до 150 мм, а также возможные материалы, из которых они изготовлены. Стенд включает нагрузочное и измерительное устройства, которые предусматривают быструю настройку на необходимый размер поршня.

Конструкция стенда (рисунок 2) представляет жесткую пространственную раму, в которой располагаются устройства для дозированного приложения нагрузки на испытываемую деталь и устройство для измерения этой нагрузки. На саму же деталь устанавливаются тензорезисторы для измерения напряжений в теле поршня или используются индикаторы, измеряющие перемещения участков юбки поршня при приложении нагрузки. Для повышения универсальности разрабатываемого стенда предусмотрена система универсальных креплений испытываемых образцов, что позволяет расширить возможности исследований.



Рисунок 2 – Конструкция испытательного стенда

Figure 2 – Testing bench design

Измерения прикладываемой нагрузки производились с помощью рычажного динамометра системы Токаря. Перед началом экспериментальных исследований проводилась тарировка стенда.

Тензометрические измерения. Тензометрические измерения проводились с помощью тензостанции ZET017-T8 и тензорезисторов ТКБ01-5-100-23. Схема приложения испытательной нагрузки к юбке поршня и схема установки тензорезисторов на юбке поршня представлены на рисунке 3.

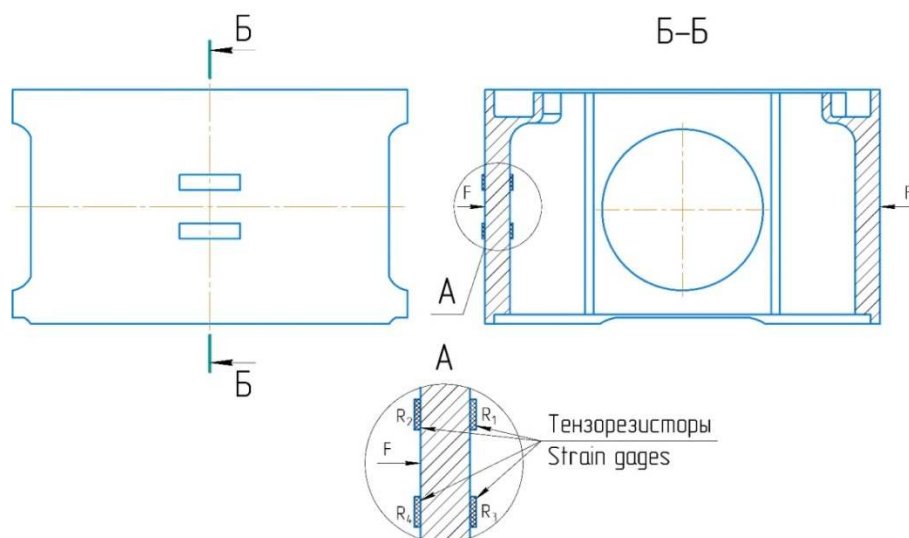


Рисунок 3 – Схема приложения испытательной нагрузки и расположения тензорезисторов, где F – сила, точно воздействующая на юбку по оси поршневого пальца

Figure 3 – Scheme of application of the test load and the location of the resistance strain gages, where F – force acting pointwise on the skirt along the axis of the piston pin

Схема подключения тензорезисторов и определение деформации для полномостовой схемы приведены на рисунке 4.

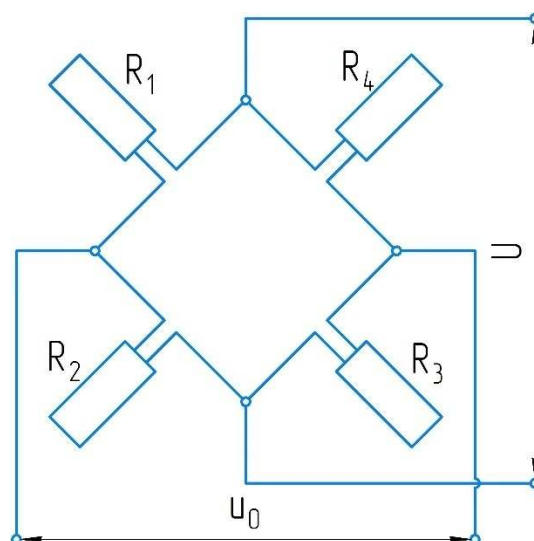


Рисунок 4 – Схема подключения тензорезисторов

Figure 4 – Resistance strain gages connection diagram

На схеме R_1 ; R_3 – сопротивления резисторов, измеряющих напряжения на внутренней поверхности юбки, R_2 ; R_4 – сопротивления резисторов, измеряющих напряжения на наружной стороне, u_0 – выходное питание моста, U – питание моста.

Расчет выходного питания моста при известных деформациях тензорезисторов рассчитывается по формуле:

$$u_0 = U \cdot K_s \cdot \varepsilon_0 ,$$

где K_s – К-фактор (коэффициент тензочувствительности тензорезисторов), ε_0 – суммарная деформация тензодатчиков.

Напряжения определятся по формуле:

$$\sigma = \varepsilon_0 \cdot E,$$

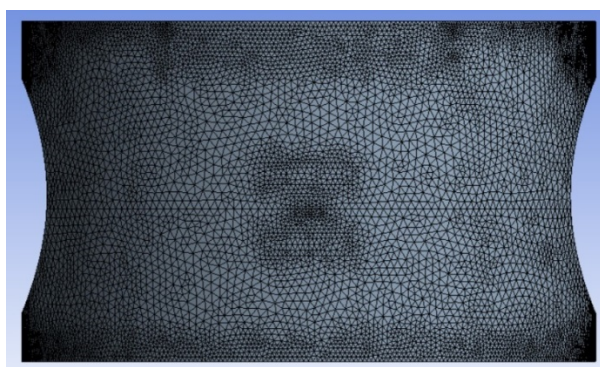
Расчетные исследования проводились на объемной модели юбки поршня, представленной на рисунке 5 с использованием метода конечных элементов (МКЭ). При использовании МКЭ определение деформаций юбки поршня сводится к решению системы линейных уравнений теории упругости, имеющих вид:

$$\begin{cases} k_{11}\delta_1 + k_{12}\delta_2 + \dots + k_{1j}\delta_j = p_1 \\ \vdots \\ k_{i1}\delta_1 + k_{i2}\delta_2 + \dots + k_{ij}\delta_i = p_i \end{cases},$$

Система уравнений в матричной форме: $[K]\{\delta\} = \{p\}$,



I)



II)

Figure 5 – I) volumetric model of the piston skirt, with dedicated zones for installing resistance strain gages; II) finite element model of the piston skirt

Для составления матрицы жесткости используется метод ансамблирования, то есть объединение матриц жесткости отдельных конечных элементов в одну глобальную матрицу всей конструкции.

При решении задачи МКЭ возникают погрешности, связанные с геометрическими различиями рассчитываемой детали и ее конечно-элементной модели. Эти погрешности уменьшаются с уменьшением размеров конечных элементов и соответственно увеличением их числа. Так как в качестве базисных функций в МКЭ используются степенные полиномы, то точное решение обеспечивалось бы полным полиномом бесконечно большой степени. Отличия от точного решения не обязательно уменьшаются по мере уменьшения размера элемента. Одним из способов определения достаточной степени дискредитации модели является итерационный расчет с идентичными граничными условиями, но постепенным сгущением сетки конечных элементов. Условием достижения оптимального разрешения модели конечными элементами является достижение такого изменения искомого параметра, например деформаций, при котором дальнейшее уменьшение элементов не оказывает существенного влияния на значение расчетных параметров. Данный метод использовался в представляемой работе.

При решении задач с помощью МКЭ хорошим способом проверки адекватности полученной модели может служить ее верификация с помощью экспериментального повторения условий, для которых проводился расчет, что выполнено в работах [5, 12].

Результаты экспериментальных и расчетных исследований представлены на рисунках 6, 8, 9.

На рисунке 6 приведены графики изменения напряжений, измеренные с помощью тензорезисторов и расчетные. Максимальное расхождение экспериментальных и расчетных результатов составило 6%.

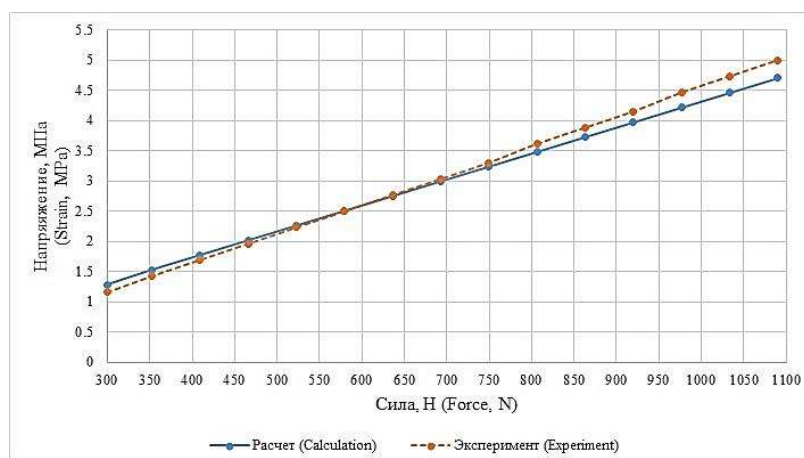


Рисунок 6 – Графики изменения расчетных и экспериментальных напряжений в юбке поршня

Figure 6 – Graphs of changes in the calculated and experimental stresses in the piston skirt

Измерение деформации юбки поршня. Измерение деформации юбки поршня от воздействия нагрузки проводилось как тензорезисторами, так и с помощью индикаторов часового типа.

Тензорезисторами фиксируются деформации изгиба на внешней и внутренней поверхностях юбки. При этом юбка может рассматриваться как цилиндр, к которому приложены сжимающие усилия. Это позволяет определить действующие напряжения и оценить прочность конструкции поршня.

Однако в математическую модель динамики движения поршня с учетом его деформаций и гидродинамического характера трения [9] должна быть заложена матрица податливости, показывающая перемещение профиля юбки от действия приложенных сил в конкретных точках конструкции юбки. Поэтому для сравнения экспериментальных перемещений с расчетными в конструкции стенда предусмотрено их определение с помощью индикаторов. Схема установки индикатора часового типа для измерения перемещений юбки поршня представлена на рисунке 7. Результаты экспериментальных измерений и расчетных исследований представлены на рисунках 8, 9. Удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных данных позволяет с помощью программы расчета напряженно-деформированного состояния получить и значения напряжений, действующих в юбке и оценить ее прочность.

Результаты экспериментальных и расчетных исследований показали, что разработанный стенд может использоваться для исследования напряженно-деформированного состояния для различных конструкций, а данная конечно-элементная модель юбки поршня может быть применена в математической модели исследования гидродинамических характеристик трения и последующего профилирования юбки поршня.

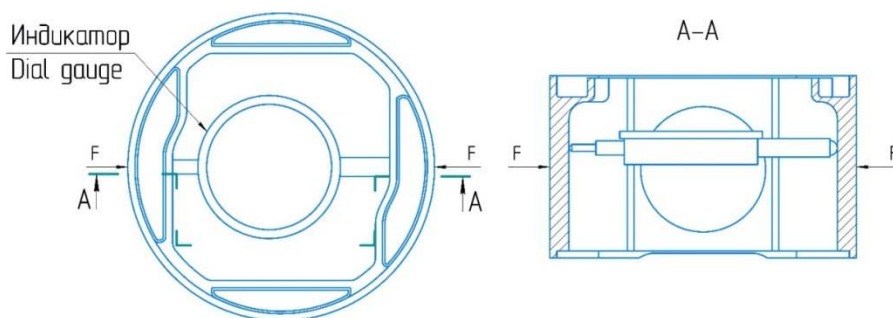


Рисунок 7 – Схема измерения деформаций индикатором часового типа

Figure 7 – The scheme of measuring deformations by the dial gauge

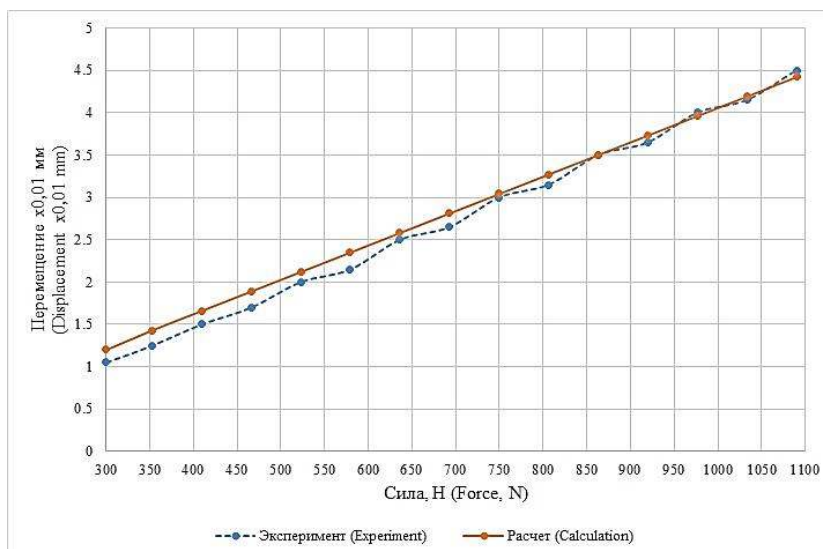


Рисунок 8 – Графики изменения расчетных и экспериментальных перемещений в зоне установки верхних тензорезисторов

Figure 8 – Graphs of changes in the calculated and experimental displacements in the installation zone of the upper resistance strain gages

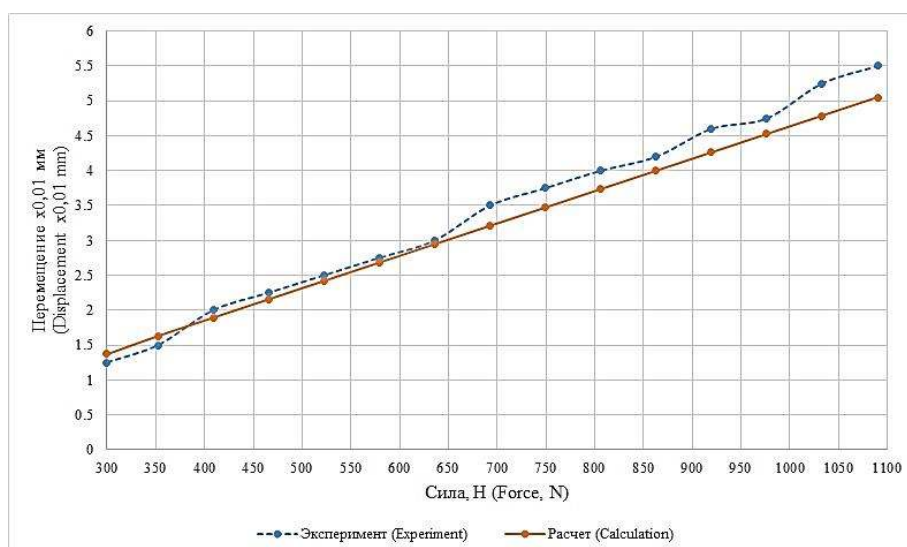


Рисунок 9 – Графики изменения расчетных и экспериментальных перемещений в зоне установки нижних тензорезисторов

Figure 9 – Graphs of changes in the calculated and experimental displacements in the installation zone of the lower resistance strain gages

Закключение. Разработан стенд для проведения экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния юбки поршня диаметром от 60 до 150 мм, который может быть использован в опытном производстве поршней ДВС для ускорения и удешевления процесса испытаний.

Получены результаты сравнительного анализа расчетных и экспериментальных исследований для юбки составного поршня дизеля. Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных результатов по напряжениям составило 6 %, а по деформациям 12 % и 9 %.

Результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для верификации математических моделей расчета напряженно-деформированного состояния юбки поршня и использоваться в качестве исходных данных для разработанной математической модели динамики движения поршня и профилирования юбки поршня.

Участие авторов: С. В. Смирнов – концепция исследования, написание текста, В. В. Копылов - анализ полученных данных, написание текста; А. Р. Макаров - анализ полученных данных, написание текста; А. А. Воробьев – проектирование стенда, подготовка и проведение эксперимента, написание текста; К. В. Шкарин – изготовление стенда, написание текста, И. А. Успенский – редакция и написание текста, И. А. Юхин – обработка полученных данных, А. И. Ушанев – проведение эксперимента на основании хозяйственного договора 8-2019 от 24.10.2019, О. В. Филюшин – проведение эксперимента на основании хозяйственного договора 8-2019 от 24.10.2019.

Библиографический список

1. Агеев А. Г. Зависимость длины юбки поршня от скоростного режима работы двигателя // Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. №2. С. 6-10.
2. Макаров А. Р., Смирнов С. В., Осокин С. В. Математическое моделирование движения поршня в цилиндре // Известия МГТУ МАМИ. 2014. №2(20). С. 24-30.
3. Путинцев С. В., Агеев А. Г. Проверка эффективности применения ребер жесткости юбки поршня малоразмерного дизеля // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 11. С. 35-39.
4. Путинцев С. В. Механические потери в поршневых двигателях: специальные главы конструирования, расчета и испытаний. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 228 с.

5. Смирнов С. В., Макаров А. Р., Воробьев А. А. Математическое моделирование динамики движения юбки поршня в цилиндре двигателя внутреннего сгорания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования». 2017. Т. 18. № 3. С. 338-344. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-338-344.
6. Allmaier H., Sander D. E., Reich F. M. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems // World Tribology Congress. Torino. 2013. P. 117.
7. Danilov I. K., Popova I. M., Moiseev U. I. Analysis and validation of the dynamic method for diagnosing diesel engine connecting rod bearings // Transport Problems. 2018. №13(1). P. 123-133.
8. Experimental and simulative research advances in the piston assembly of an internal combustion engine / C. Kirner, J. Halbhuber, B. Uhlig, A. Oliva, S. Graf, G. Wachtmeister // Tribology International. 2016. Vol. 99. P. 159–168.
9. Gunelsu O., Akalin O. The effects of piston skirt profiles on secondary motion and friction // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2014. Vol. 136. No. 6.
10. John A., Agarwal V. Optimization of Piston Skirt Profile Design to Eliminate Scuffing and Seizure in a Water Cooled Gasoline Engine // SAE Technical Paper. 2015. Vol. 01. <https://doi.org/10.4271/2015-01-1726>.
11. Miloud Tahar Abbes Elastohydrodynamic Piston Skirt Lubrication: Effect on Tribological Performances // International Joint Tribology Conference IJTC. 2012. 61129. P. 237-242.
12. Zhenpeng He. Piston skirt friction loss and dynamic analyses based on FEM method // Industrial Lubrication and Tribology. 2018. Vol. 70 Issue: 4. P. 656-672.

Reference

1. Ageev A. G. Zavisimost' dliny yubki porshnya ot skorostnogo rezhima raboty dvigatelya // Molodezhnyj nauchno-tehnicheskij vestnik MGTU im. N. Je. Bauman. 2013. №2. P. 6-10.
2. Makarov A. R., Smirnov S. V., Osokin S. V. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya porshnya v cilindre // Izvestiya MGTU MAMI. 2014. №2(20). P. 24-30.
3. Putincev S. V., Ageev A. G. Proverka jeffektivnosti primeneniya reber zhestkosti yubki porshnya malorazmernogo dizelya // Traktory i sel'hozmashiny. 2016. № 11. P. 35-39.
4. Putincev S. V. Mehanicheskie poteri v porshnevyyh dvigatelyah: special'nye glavy konstruirovaniya, rascheta i ispytaniy. M.: MGTU im. N. Je. Bauman, 2011. 228 p.
5. Smirnov S. V., Makarov A. R., Vorob'ev A. A. Matematicheskoe modelirovanie dinamiki dvizheniya yubki porshnya v cilindre dvigatelya vnutrennego sgoraniya // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: "Inzhenernye issledovaniya". 2017. Vol. 18. № 3. P. 338-344. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-338-344.
6. Allmaier H., Sander D. E., Reich F. M. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems // World Tribology Congress. Torino. 2013. P. 117.
7. Danilov I. K., Popova I. M., Moiseev U. I. Analysis and validation of the dynamic method for diagnosing diesel engine connecting rod bearings // Transport Problems. 2018. №13(1). P. 123-133.
8. Experimental and simulative research advances in the piston assembly of an internal combustion engine / C. Kirner, J. Halbhuber, B. Uhlig, A. Oliva, S. Graf, G. Wachtmeister // Tribology International. 2016. Vol. 99. P. 159–168.
9. Gunelsu O., Akalin O. The effects of piston skirt profiles on secondary motion and friction // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2014. Vol. 136. No. 6.
10. John A., Agarwal V. Optimization of Piston Skirt Profile Design to Eliminate Scuffing and Seizure in a Water Cooled Gasoline Engine // SAE Technical Paper. 2015. Vol. 01. <https://doi.org/10.4271/2015-01-1726>.
11. Miloud Tahar Abbes Elastohydrodynamic Piston Skirt Lubrication: Effect on Tribological Performances // International Joint Tribology Conference IJTC. 2012. 61129. P. 237-242.
12. Zhenpeng He. Piston skirt friction loss and dynamic analyses based on FEM method // Industrial Lubrication and Tribology. 2018. Vol. 70 Issue: 4. P. 656-672.

Информация об авторах

Смирнов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. Контактная информация: e-mail: smirnov-sv@rudn.ru, телефон: +7(985)1194360, ORSID: <https://orcid.org/0000-0002-8887-1745>, eLibrary SPIN-код: 7133-5956

Копылов Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. Контактная информация: e-mail: kopylov-vv@rudn.ru, телефон: +7(916)5757002, eLibrary SPIN-код: 7535-8716.

Макаров Александр Романович, кандидат технических наук, профессор департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. Контактная информация: e-mail: makarov-ar@rudn.ru, телефон: +7(926)5320641, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6895-3076>, eLibrary SPIN-код: 9195-4544

Воробьев Александр Алексеевич, аспирант департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. Контактная информация: e-mail: 1042182019@rudn.ru, телефон: +7(985)1649008, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3977-9862>, eLibrary SPIN-код: 1782-2846

Шкарин Кирилл Владимирович, ассистент департамента машиностроения и приборостроения, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов. Контактная информация: e-mail: shkarin-kv@rudn.ru, телефон: +7(915)3761208, eLibrary SPIN-код: 4599-9150.

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта», Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Контактная информация: e-mail: ivan.uspenskiy@yandex.ru, телефон: +7(903)6400593, eLibrary SPIN-код: 1831-7116.

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автотракторная техника и теплоэнергетика», Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Контактная информация: e-mail: yuival@rambler.ru, телефон: +7(903)8344318, eLibrary SPIN-код: 9075-1341.

Ушанев Александр Игоревич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Контактная информация: e-mail: aushaniev@inbox.ru, телефон: +7(980)5615833, eLibrary SPIN-код: 9770-6936.

Филюшин Олег Владимирович, студент магистратуры 1 курса по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Контактная информация: e-mail: olegfil93@mail.ru телефон: +7(910)5053200, eLibrary SPIN-код: 9798-0460.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 631.316.4:635

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-36

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

METHOD FOR INCREASING THE EFFECTIVENESS OF INTERSPACE CULTIVATION OF VEGETABLE CROPS

Н. В. Романовский, научный сотрудник
А. М. Захаров, кандидат технических наук

N. V. Romanovsky, A. M. Zakharov

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» – филиал в Санкт-Петербурге, Россия

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center of All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization of the Russian Academy of Agricultural Sciences, the branch in Saint Petersburg, Russia

Дата поступления в редакцию 01.11.2019
Received

Дата принятия к печати 20.12.2019
Submitted 20.12.2019

В статье приведен обзор эффективных приемов, обеспечивающих точность вождения сельскохозяйственных машин при выполнении технологических операций. Выявлено, что наибольшая точность достигается при исключении из процесса влияния физиологических возможностей человека и промежуточного звена – энергетического средства. Для повышения точности вождения необходимо создать ориентир на поверхности поля, непосредственно связан-

ный с междурядьями. Таким ориентиром может быть сформированная «направляющая щель». Для ее создания разработан модуль-адаптер, оборудованный ножом-щелерезом, который является промежуточным звеном между трактором и сельхозмашиной. «Направляющая щель» используется при проведении междурядных обработок, количество их зависит от погодных условий и интенсивности роста растений. Проведенные эксперименты показали, что при формировании щели в подпахотном горизонте глубиной 0,10 м обеспечивается точность вождения сельхозмашин на протяжении всего периода междурядных обработок. Величина смещения при проходе не превышает 0,015 м, что дает возможность снизить величину необрабатываемой поверхности гребня не менее чем в два раза. Благодаря применению дополнительных вставок к боронам БРГ-0,7 возможно их применение при обработке междурядий. Уменьшение площади поверхности гребня, не обработанного механически, приводит к уменьшению трудозатрат и повышению эффективности производства пропашных культур.

The article provides an overview of effective techniques that ensure the accuracy of driving agricultural machinery during technological operations. It was revealed that the greatest accuracy is achieved by excluding from the process the influence of the physiological capabilities of a person and an intermediate link - an energy tool. To improve the driving accuracy, a landmark was proposed associated with the row spacing, namely a «guiding slot», which was formed together with ridge building. For this purpose, a special tool (adapter-slot maker) was designed, which was installed between the tractor and the agricultural machine. The «guiding slot» was used for between-row cultivations, the number of which depended on weather conditions and plant growth rate. The experiments showed that when a gap is formed in a subsurface horizon with a depth of 0,10 m, the accuracy of driving agricultural machines throughout the entire period of interspace cultivations is ensured. The deviation of the working tools did not exceed 0,015 m that made it possible to reduce the uncultivated area of the ridge at least twofold. Owing to the use of additional inserts for BRG-0,7 harrows, they could be used in row spacing. The reduction of the surface area of the ridge, not machined mechanically, leads to a decrease in labor costs and increase the efficiency of production of row crops.

Ключевые слова: точность вождения, модуль-адаптер, щелерезы, направляющая щель, междурядные обработки.

Key words: driving accuracy, adapter-slot, maker, guiding slot, interspace cultivation.

Работа выполнена по теме Государственного задания № 0581-2019-0026

«Разработать интеллектуальные системы, комплексы машин и оборудования для управления сельскохозяйственными экосистемами, обеспечивающие экологическую безопасность и устойчивое состояние природной среды»

Цитирование. Романовский Н. В., Захаров А. М. Способ повышения эффективности междурядной обработки овощных культур. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 311-319. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-36.

Citation. Romanovsky N.V., Zakharov A.M. Method for increasing effectiveness of interspace cultivation of vegetable crops. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 311-319 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-36.

Введение. Основным путем повышения эффективности технологий производства сельскохозяйственной продукции является снижение затрат труда и рациональное использование материалов.

При возделывании сельскохозяйственных культур в системе органического земледелия не предусматривается применение сложных синтезированных химических веществ (удобрений, гербицидов, пестицидов) [2, 3, 8, 9], в связи с этим происходит замещение технологических операций, выполняемых с их помощью, аналогичными по назначению. Наиболее затратными являются операции с применением ручного труда, например прополка, которая при возделывании овощных культур выполняется многократно [4, 11]. При обработке междурядий происходит не только уничтожение сорных растений, но и рыхление почвы с целью улучшения ее водно-воздушного режима. В зоне роста растений удаление сорняков производится вручную.

Площадь прополки, не обрабатываемой механическим способом, образуется из зоны расположения растений и двух защитных зон, предотвращающих повреждение растений при неточном вождении сельскохозяйственной машины по междурядьям. Минимальная величина зоны расположения растений зависит от корневой системы растения в период обработки, а величина защитной зоны – от технических возможностей, обеспечивающих точность вождения сельскохозяйственных агрегатов по междурядьям.

Для повышения точности вождения разработаны технологии возделывания сельскохозяйственных культур на профилированной поверхности [5]. В зависимости от климатических условий это могут быть грядовая или гребневая поверхности. При вождении сельскохозяйственных агрегатов по направляющей борозде влияние оказывают физиологические возможности человека, при этом смещение сельхозмашины может достигать 0.06 м. Для обеспечения сохранности растений зона их расположения должна быть не менее 0.18...0.20 м, соответственно механически не обработанная поверхность может составлять 30...40% поверхности гребня [6].

Для повышения точности вождения в нашей стране и за рубежом выпускаются культиваторы, ориентация которых относительно обрабатываемых междурядий осуществляется оператором [7]. Точность вождения на данных машинах определяется реакцией оператора, вследствие чего рабочая скорость агрегатов не превышает 3 км/ч.

В настоящее время применяется способ вождения сельскохозяйственных агрегатов с помощью навигационных систем [1, 4, 10]. Возделывание овощных культур производится преимущественно на малых площадях в фермерских и крестьянских хозяйствах. Для применения навигационных систем требуются дорогостоящие предварительная подготовка участка и приобретение оборудования, которые не доступны для малых и средних товаропроизводителей. С помощью навигационной системы производится ориентация энергетического средства (трактора), а не непосредственно сельскохозяйственной машины, что снижает точность её ориентации относительно междурядья.

Наиболее точное вождение сельхозмашины по междурядьям возможно при создании ориентира на поле, увязанного с междурядьями. Подобная работа проводилась Всесоюзным институтом оросительного овощеводства и бахчеводства (ВНИИОБ). Технологии возделывания овощных культур предусматривали нарезку при посеве технологического углубления (направляющей щели), которое впоследствии ориентировало сельхозмашины при междурядной обработке. Данная технология получила название «Астраханская» [12].

Нарезка углубления (технологической щели) производилась приспособлениями, снабженными ножами – щелерезами, которые монтировались на раме сельхозмашины и при последующих обработках ориентировали сельскохозяйственные машины по направляющим щелям.

Ориентация сельхозмашин по направляющей щели дала возможность существенно снизить защитную зону при междурядной обработке, но вследствие трудоемкости монтажа и регулировки приспособлений технология распространения не получила. Кроме того, рамные конструкции сельхозмашин не рассчитаны на дополнительную нагрузку, возникающую при нарезке щели.

Создание ориентира на поле, увязанного с междурядьями, является наиболее перспективным способом повышения точности вождения сельхозмашин при междурядной обработке. Исследования в данном направлении проводятся как в нашей стране [11], так и за рубежом, в основном они направлены на разработку рабочих органов, формирующих направляющую щель.

Для устранения недостатков, присущих «Астраханской технологии» и связанных с установкой и регулировкой приспособлений для нарезки щелей на сельскохозяйственной машине, в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ был разработан модуль –

адаптер (рисунок 1), снабженный регулируемым по глубине ножом – щелерезом, образующим направляющую щель. Адаптер является промежуточным звеном между энергетическим средством и сельскохозяйственной машиной. Лабораторные испытания адаптера для формирования направляющей щели и впоследствии ориентации по ней сельхозмашины показали эффективность его применения.



Рисунок 1 – Модуль – адаптер – щелерез

Figure 1 – Adapter-slot maker

Целью настоящей работы являлось повышение эффективности междурядных обработок с целью уничтожения сорных растений в междурядьях путем уменьшения защитной зоны в посевах. Для этого необходимо определить изменение направляющей щели в зависимости от количества проходов агрегата и времени ее использования в течение всего периода ухода за растениями.

Материалы и методы. Исследования проводились на посевах столовой свеклы, посеянной по однострочной схеме посева на гребневой поверхности с междурядьями 0,7 м. Тип почвы по механическому составу – дерново-подзолистая, суглинистая. Глубина предшествующей обработки (весновспашка) – 0,18 м.

В качестве элемента, формирующего направляющую щель, использовался модуль-адаптер. Для обеспечения заданной глубины хода ножа, независимо от конструкции рамы, агрегируемой сельскохозяйственной машины, нож регулируется относительно рамы адаптера.

Исследования проводились непосредственно на посевах столовой свеклы и на специально выделенном участке с гребневой поверхностью для определения точности вождения. По стандартным методикам определялось состояние почвы: влажность и твердость. При проведении исследований был проведен анализ данных, полученных в результате исследований модуля-адаптера конструкции ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, и аналогичных исследований, проведенных другими организациями. Экспериментальные данные обрабатывались методом математической статистики.

Для определения профиля направляющей щели, ее изменения в течение времени и влияния ее состояния на точность вождения были разработаны методики измерений.

Определение профиля образованной щели осуществлялось с помощью щупа диаметром 0,005 м. Щуп внедрялся в почву вдоль линейки, уложенной перпендикулярно направлению движения агрегата, с интервалом 0,01 м, с усилием 30 Н. Замеры производились в зоне образования щели. При внедрении определялась глубина проникновения щупа. Ширина образованной щели определялась расстоянием между наиболее

глубокими проникновениями щупа. Замеры проводились после выполнения каждого технологического процесса. Определение сохранения формы щели определялось твердостью почвы, заполнившей ее в течение времени, и при проведении технологических операций. Измерения проводились непосредственно после прохода агрегата с ориентацией по направляющей щели и перед последующей операцией. Определение твердости проводились непосредственно в направляющей щели, предварительно определив ее расположение щупом.

Точность вождения оценивалась с помощью агрегата, состоящего из трактора, адаптера-щелереза и сеялки. Оценка точности вождения проводилась по величине смещения следоуказателя при повторном прохождении агрегата, с соблюдением направления движения и рядности. В качестве следоуказателя использовались следы прикатывающих колес сошников сеялки. Определение производилось на специально выделенном участке без посева свеклы. Первоначально на участке осуществлялся проход посевного агрегата. В пяти местах, равномерно расположенных по длине гона, определялась ширина следа прикатывающих колес α , за всеми сошниками при повторном проходе также определялась ширина следа α' . Разница средних значений α' и α определяет точность вождения α_3 . На рисунке 2 показана схема для определения точности вождения.

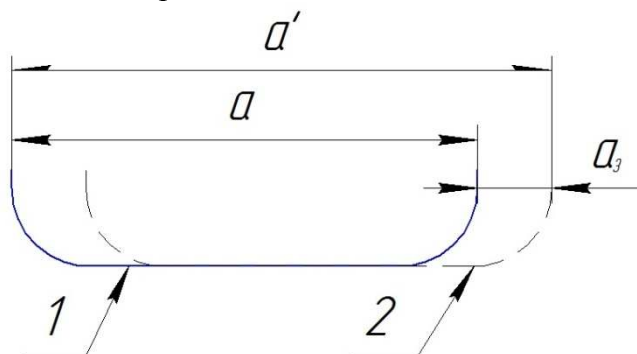


Рисунок 2 – Схема замеров для определения точности вождения:

1 – след первого прохода; 2 – след второго прохода

Figure 2 – Measurement scheme for determining the driving accuracy:

1 – trace of the first pass; 2 – trace of the second pass

Для определения зоны расположения растений, с двух сторон ряда укладываются линейки длиной 1 м, касающиеся стеблей или корнеплодов (в зависимости от фазы развития растений) рисунок 3.

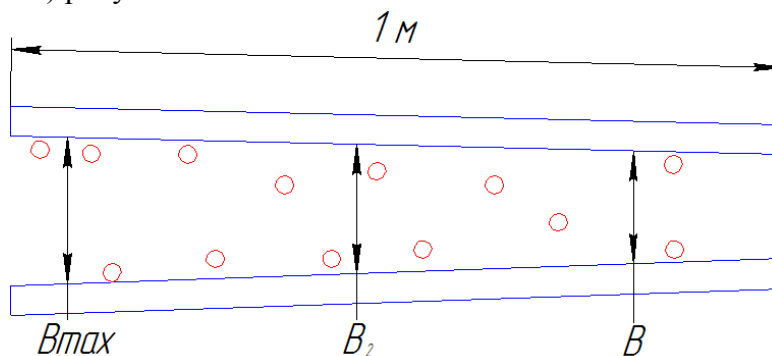


Рисунок 3 – Схема для определения зоны расположения растений

Figure – 3 Scheme for determining the location of plants

Определяется наибольшее расстояние между линейками $V_{\max}$. Замеры производятся на каждом рядке на ширине захвата сеялки, в пяти местах на длине гона. По результатам измерений определено среднее значение ширины зоны расположения растений $V_{\text{ср}}$.

Используя полученные значения средней величины $V_{\text{ср}}$, определялись площадь, пропалываемую вручную и, соответственно, трудозатраты Z_t на проведение прополки по следующему выражению:

$$Z_{TP} = \frac{10^6 \cdot V_{\text{ср}}}{v_M \cdot W_{\text{пр}}}, \text{ чел/ч}, \quad (1)$$

где v_M – ширина междурядья, м, $v_M = 0,7$ м; $W_{\text{пр}}$ – производительность труда при прополке вручную, м²/ч.

Результаты и обсуждение. Предшествующая обработка почвы перед нарезкой гребней - весновспашка на глубину 0,18 м. Формирование гребневой поверхности и посев проводились на следующий день. Влажность почвы по слоям составила 0-0,1 м – 26,35 %; 0,1-0,2 м – 25,8 %; 0,2-0,3 м – 26,72 %. Твердость почвы измерялась пенетрометром DISKEY – john по слоям и составила: 0-0,0762 м – 0,14 МПа; 0,0762-0,1524 м – 0,21 МПа; 0,1524-0,2286 м – 0,27 МПа; 0,2286-0,3042 м – 0,485 МПа.

Формирование направляющей щели производилось при нарезке гребней. Глубина хода ножа-щелереза превышала слой почвы, обработанной при вспашке, на 0,1 м и составила 0,3 м относительно поверхности поля. Ширина образованной щели составила $v_1 = 0,024$ м. При повторном использовании направляющей щели в качестве ориентира при посеве параметры ее практически не изменялись $v_2 = 0,026$ м.

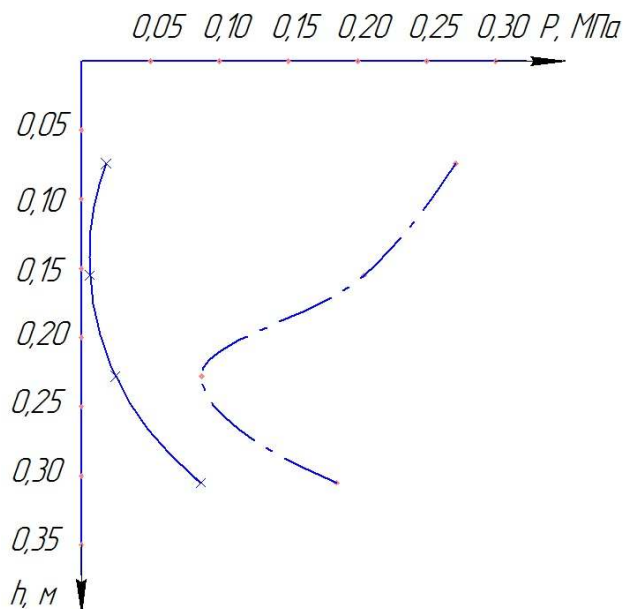


Рисунок 4 – График изменения твердости почвы в направляющей щели:
P – твердость почвы, МПа; h – глубина определения твердости почвы, м;
————— – твердость почвы после посева;
- - - - - – твердость почвы после формирования гребня

Figure 4 – Graph of variation of soil penetration resistance in the guiding slot:
P – soil penetration resistance, MPa; h – measurement depth of soil penetration resistance, m;
————— – soil penetration resistance after seeding;
- - - - - – soil penetration resistance after ridge formation

При выполнении технологических операций направляющая щель также подвергалась воздействию рабочих органов сельхозмашин. При обработке междурядий происходило заполнение образованной щели почвой. Оценка состояния щели проводилась определением в ней твердости почвы. На рисунке 4 показано изменение твердости по слоям после нарезки гребней и посева.

Междурядные обработки проводились по мере отрастания сорняков в междурядьях. Перед проведением первой междурядной обработки на участке без посева свеклы было определено изменение направляющей щели после третьего прохода. Она составила $a_3 = 0,029$ м. Одновременно, с соблюдением направления и келейности с использованием посевного агрегата была определена точность вождения, которая составила $a_3 = 0,012$ м. На посевах столовой свеклы определили зону роста растений, которая составила $B = 0,062$ м. По полученным данным определили зону расположения растений B_p по выражению:

$$B_p = B + 2a_3, \quad (2)$$

$$B_p = 0,062 + 2 \cdot 0,012 = 0,086 \text{ м.}$$

Зона расположения растений служит ориентиром для регулировки рабочих органов для междурядной обработки.

Первая междурядная обработка проводилась 16 июля 2019 года. Для обработки поверхности междурядья с обеспечением указанной защитной зоны использовались боронки БРГ-0,7 с дополнительными вставками для увеличения их рабочей поверхности. При обработке боронами конструктивно обеспечивалась зона роста растений 0,01 м, повреждений растений после обработки не наблюдалось.

Перед проведением междурядной обработки проводился замер твердости почвы в щели и в смежном междурядье за пределами колес трактора. После проведения междурядной обработки определяли параметры направляющей щели.

Вторая междурядная обработка была проведена 16 августа 2019 года. Перед проведением междурядной обработки аналогично проводилось определение твердости почвы в направляющей щели и смежных междурядьях. В таблице 1 приведены данные по твердости почвы в направляющей щели и смежных междурядьях при первой и второй междурядных обработках.

Таблица 1 – Твердость почвы в элементах поверхности поля
в период вегетации растений свеклы

Table 1. Soil penetration resistance in the field surface elements during the red beet vegetation

Твердость по слоям, м / Soil penetration resistance per layers, m	Первая междурядная обработка 16.07.19, Мпа / First inter-row cultivation, 16.07.2019, MPa		Вторая междурядная обработка 16.08.19, Мпа / Second inter-row cultivation, 16.08.2019, MPa	
	Направляющая щель / Guiding slot	Междурядья / Inter-row spacing	Направляющая щель / Guiding slot	Междурядья / Inter-row spacing
0,0762	0,42	0,35	0,45	0,49
0,1524	0,45	0,70	0,43	1,54
0,2286	0,28	1,40	0,30	1,54
0,3048	0,34	1,54	0,23	1,75
0,381	1,26	1,75	1,54	1,54

Направляющая щель, частично сформированная в подпахотном горизонте, сохраняет свои параметры в течение вегетационного периода растений и может служить ориентиром для сельскохозяйственных машин при междурядной обработке.

Закключение. Ориентация сельхозмашин по направляющей щели дает возможность снизить необработанную поверхность гребней с 0,18...0,20 м до 0,10 м. Применение направляющей щели повышает точность вождения и уменьшает защитную зону не менее чем в 2 раза. Уменьшение защитной зоны снижает трудозатраты при проведении прополок.

Библиографический список

1. Зыков А. В., Юнин В. А., Захаров А. М. Использование робототехнических средств в АПК // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. №3 (81). С. 8-11.
2. Обоснование интеллектуальной системы управления органическим производством в растениеводстве / В. Д. Попов, В. Б. Минин, Д. А. Максимов, Э. А. Папушин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. №4(97). С. 28-41.
3. Романовский Н. В. Возделывание столовой свеклы в органическом севообороте // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. №93. С. 48-53.
4. Романовский Н. В., Перекопский А. Н. Повышение эффективности механической обработки междурядий в органическом земледелии // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. №98. С. 101-107.
5. Семичев Ч. В., Смирнов И. Г., Мосяков М. А. Повышение курсовой устойчивости орудия при возделывании пропашных сельскохозяйственных культур // Вестник Федерального государственного образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. №3(91). С. 4-8.
6. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика / ФГБНУ АТИ. СПб. 2016. С. 57-67.
7. Ahmad L., Mahdi S.S. Satellite farming: An information and technology based agriculture // Satellite Farming: An Information and Technology Based Agriculture. 1 January 2019. P. 1-190.
8. Gallandt E. Weed Management in Organic Farming / https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4939-1019-9_4 (дата обращения 12.02.2019г.)
9. Masiunas J. Mechanical Weed Management in Organic Crops / <https://studylib.net/doc/15437835/mechanical-weed-management-in-organic-crops> (дата обращения 12.02.2019г.)
10. Urra J., Alkorta I., Garbisu C., Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture // Agronomy. Vol. 9. Issue 9, 12 September 2019, article number 542.
11. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control / G.R.Y. Coleman, A. Stead, M.P. Rigter, Z. Xu, G.M. Brooker, S. Sukkarieh, M.J. Walsh // Weed Technology. Vol. 33. Issue 4. 1 August 2019. P. 633-650.
12. Wang A., Zhang W., Wei X. A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques // Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 158. March 2019, P. 226-240.

Reference

1. Zykov A. V., Yunin V. A., Zaharov A. M. Ispol'zovanie robototekhnicheskikh sredstv v APK // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2019. №3 (81). P. 8-11.
2. Obosnovanie intellektual'noj sistemy upravleniya organicheskim proizvodstvom v rastenievodstve / V. D. Popov, V. B. Minin, D. A. Maksimov, Je. A. Papushin // Tehnologii i tehnicheckie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018. №4(97). P. 28-41.
3. Romanovskij N. V. Vozdelyvanie stolovoj svekly v organicheskom sevooborote // Tehnologii i tehnicheckie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2017. №93. P. 48-53.
4. Romanovskij N. V., Perekopskij A. N. Povyshenie jeffektivnosti mehanicheskoy obrabotki mezhduryadij v organicheskom zemledelii // Tehnologii i tehnicheckie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2019. №98. P. 101-107.

5. Semichev Ch. V., Smirnov I. G., Mosyakov M. A. Povyshenie kursovoj ustojchivosti orudiya pri vozdeystvovanii propashnyh sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V. P. Goryachkina". 2019. №3(91). P. 4-8.

6. Yakushev V. V. Tochnoe zemledelie: teoriya i praktika / FGBNU ATI. SPb. 2016. P. 57-67.

7. Ahmad L., Mahdi S.S. Satellite farming: An information and technology based agriculture // Satellite Farming: An Information and Technology Based Agriculture. 1 January 2019. P. 1-190.

8. Gallandt E. Weed Management in Organic Farming / https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4939-1019-9_4 (дата обращения 12.02.2019 г.)

9. Masiunas J. Mechanical Weed Management in Organic Crops / <https://studylib.net/doc/15437835/mechanical-weed-management-in-organic-crops> (дата обращения 12.02.2019 г.)

10. Urra J., Alkorta I., Garbisu C., Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture // Agronomy. Vol. 9. Issue 9, 12 September 2019, article number 542.

11. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control / G.R.Y. Coleman, A. Stead, M.P. Rieger, Z. Xu, G.M. Brooker, S. Sukkarieh, M.J. Walsh // Weed Technology. Vol. 33. Issue 4. 1 August 2019. P. 633-650.

12. Wang A., Zhang W., Wei X. A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques // Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 158. March 2019. P. 226-240.

Информация об авторах

Романовский Николай Валерьевич, научный сотрудник отдела «Технологии и технические средства производства продукции растениеводства» федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", филиал в Санкт-Петербурге (196625, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское шоссе, д.3), E-mail: NVromanovsky@yandex.ru

Захаров Антон Михайлович, старший научный сотрудник отдела «Технологии и технические средства производства продукции растениеводства» федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", филиал в Санкт-Петербурге (196625, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское шоссе, д.3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3501-0543>, ResearcherID: S-4113-2018, E-mail: bauermw@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 658.512:636.033:681.5.015

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-37

ИССЛЕДОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА С ЦЕЛЮ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

RESEARCH OF BUSINESS PROCESSES OF DAIRY ANIMAL BREEDING WITH THE PURPOSE OF THEIR FOLLOWING AUTOMATION

О. В. Кочеткова, доктор технических наук, профессор

В. С. Хорошавин, студент

O. V. Kochetkova, V. S. Khoroshavin

*Волгоградский государственный аграрный университет
Volgograd State Agrarian University*

Дата поступления в редакцию 16.10.2019

Дата принятия к печати 20.12.2019

Received 16.10.2019

Submitted 20.12.2019

Рост потребления молока и молочных продуктов является в настоящее время общемировой тенденцией. Для обеспечения устойчивого роста производства молока необходимо повысить эффективность деятельности молочных ферм. Это требует, прежде всего, формализации и глубокого анализа протекающих на фермах бизнес-процессов. Представленные в виде IDEF0 диаграмм бизнес-процессы позволяют увидеть реальную картину их выполнения, отражающую не только

входы и результаты выполнений подпроцессов, функций и операций бизнес-процессов, но и их исполнителей, применяемые ресурсы и документы, устанавливающие нормативные требования к их выполнению. Такой подход позволяет выполнить анализ процессов, увидеть их слабые места, определить соответствие типовым требованиям, рассчитать основные и удельные показатели, характеризующие бизнес-процессы, а затем предложить пути их реорганизации путем построения моделей «Как будет». В исследовании представлены модели «Как есть» бизнес-процессов типовых молочных ферм. В результате их анализа было выявлено несоответствие процессов типовым требованиям, отсутствие управления ими, документации и владельцев бизнес-процессов. Отмечен недостаточно высокий уровень применения цифровых технологий, позволяющий лишь идентифицировать животных, но не дающий возможности определять состояние животных, сигнализировать о его изменении и необходимости принятия срочных мер. Существующий уровень автоматизации позволяет производить расчет отклонений производственных параметров от требуемых и на основании опыта специалиста принимать решения об изменении текущего режима содержания коров. Кроме того, в автоматизированном режиме имеется возможность формировать отчетность по количеству и качеству надоев молока для каждой коровы и всего стада. В то же время, недостаточный уровень применения цифровых технологий не обеспечивает поддержку принятия решений сотрудниками и управляющими специалистами, а также не позволяет отслеживать в режиме реального времени параметры условий содержания животных, оперативно управлять их здоровьем, обеспечивать подготовку сбалансированных кормов и их индивидуальное дозирование, осуществлять автоматическое доение, сохранение, сортировку и упаковку продукции. Проведенные исследования являются базисом для создания эталонных бизнес-процессов молочных ферм, использующих современные цифровые технологии и сенсорные системы для обеспечения высокого качества и эффективности производства молочных продуктов.

An increase in the consumption of milk and dairy products is currently a global trend. To ensure sustainable growth in milk production, it is necessary to increase the efficiency of dairy farms. This requires, first of all, formalization and in-depth analysis of business processes taking place on farms. The business processes presented in the form of IDEF0 diagrams allow you to see the real picture of their implementation, reflecting not only the inputs and results of the sub-processes, functions and operations of the business processes, but also their executors, the resources used and the documents that establish the regulatory requirements for their implementation. This approach allows us to analyze processes, see their weaknesses, determine compliance with standard requirements, calculate the main and specific indicators characterizing business processes, and then propose ways for their reorganization by constructing «As will be» models. The study presents the «As it is» model of business processes of typical dairy farms. As a result of their analysis, a discrepancy between processes and typical requirements was revealed, and lack of management, documentation, and business process owners. An insufficiently high level of application of digital technologies was noted, allowing only identifying animals, but not giving the opportunity to determine the condition of animals, to signal about its change and the need for urgent measures. The existing level of automation allows the calculation of deviations of production parameters from the required ones and, based on the experience of a specialist, makes decisions about changing the current mode of keeping cows. In addition, in an automated mode it is possible to generate reports on the quantity and quality of milk baked for each cow and the whole herd. At the same time, the insufficient level of application of digital technologies does not provide support for decision-making by employees and managing specialists, nor does it make it possible to monitor in real time the parameters of the conditions of the animals, manage their health efficiently, ensure the preparation of balanced feeds and their individual dosing, and carry out automatic milking, storage, sorting and packaging of products. The conducted studies are the basis for the creation of reference business processes for dairy farms using modern digital technologies and sensor systems to ensure high quality and efficient production of dairy products.

Ключевые слова: *молочное животноводство, бизнес-процессы, цифровые технологии сельского хозяйства.*

Key words: *dairy farming, business process, digital technologies.*

Цитирование. Кочеткова О. В., Хорошавин В. С. Исследование бизнес-процессов молочного животноводства с целью их последующей автоматизации. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 319-328. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-37.

Citation. Kochetkova O. V., Khoroshavin V. S. Research of business processes of dairy animal breeding with purpose of their following automation. *Proc. of the Lower Volga AgroUniversity Comp.* 2019. 4(56). 319-328 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-37.

Введение. Важным продуктом в рационе россиян является молоко, которое по пищевой ценности может заменить любой продукт, хотя ни один пищевой продукт не может заменить молоко. В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации [1] уровень самообеспечения страны по молоку и молочным продуктам должен быть не менее 90%, однако в настоящее время он составляет лишь 78,8%, что требует роста объемов его производства за счет обеспечения здоровья животных [4], быстрого внедрения инноваций, применения цифровых технологий [2]. Однако сельское хозяйство Российской Федерации отстает от других отраслей в проникновении цифровых и инновационных технологий. Причинами этого факта являются не только особенности ведения агропроизводства и необходимые существенные первоначальные инвестиции, но и непонимание сельхозтоваропроизводителями процессов использования цифровых технологий и механизмов повышения эффективности и результативности деятельности предприятий вследствие их применения [3]. Кроме того, не теряет своей актуальности проблема повышения качества молока и молочных продуктов, поскольку потребители хотят употреблять молочные продукты, в которых отсутствуют гормоны и антибиотики [6], а также соматические клетки. Поэтому организация и прозрачность производственных процессов важны для удовлетворения требований потребителей [10] и обеспечения их доверия к продукции. Наблюдаемая в последнее время тенденция роста размеров молочных ферм [8] и увеличение численности крупных ферм предъявляют новые, более высокие требования к управлению [12]. В этом случае важным инструментом управления [5] является внедрение лучших практик управления и эталонных бизнес-процессов [11].

Для решения перечисленных выше проблем необходимо изучить существующие бизнес-процессы молочных ферм и выполнить их анализ, а затем разработать новые, эталонные бизнес-процессы и утвердить их в качестве внутрифирменного стандарта, чтобы повысить качество продукции и эффективность производства.

В настоящее время имеется чрезвычайно мало информации об организации бизнес-процессов на молочных фермах и проблемах, связанных с их оценкой и реорганизацией. Однако их четкое описание необходимо для понимания текущего положения дел и непрерывного совершенствования с целью повышения эффективности управления производственной деятельностью сельскохозяйственных предприятий. Поэтому целью данного исследования является изучение, формализация, анализ бизнес-процессов на молочных фермах с целью их дальнейшей реорганизации и создания эталонных бизнес-процессов, реализуемых с использованием цифровых технологий, адаптивных методов управления и обладающих высокой эффективностью.

Материалы и методы. В исследовании использовался системный подход, функциональный и логический анализ, а также синтез отечественной и зарубежной теории и практики организации бизнес-процессов на молочных фермах. На базе методологии бизнес-моделирования и процессного подхода для создания графических моделей была выбрана нотация IDEF0, которая проста и понятна, а разработанные в ней графические модели позволят наглядно оценить исследуемую деятельность по отношению к нормативным требованиям, найти проблемные области и определить возможности для улучшений, чтобы достичь поставленных целей. Кроме того, такие диаграммы одинаково понятны не только бизнес-аналитикам, но и управленцам и сотрудникам молочных ферм.

Результаты. На базе методологии бизнес-моделирования и процессного подхода выполнена формализация в виде графических моделей бизнес-процессов «Как есть» молочных ферм, начиная с первого уровня декомпозиции (рисунок 1) и дальнейшей их декомпозиции до более подробного описания процессов на третьем уровне декомпозиции (рис. 8, 9). Это позволяет выявить текущие несоответствия, проблемы и узкие места, а затем построить модели «Как будет», отображающие правила выполнения процессов для достижения желаемой цели.

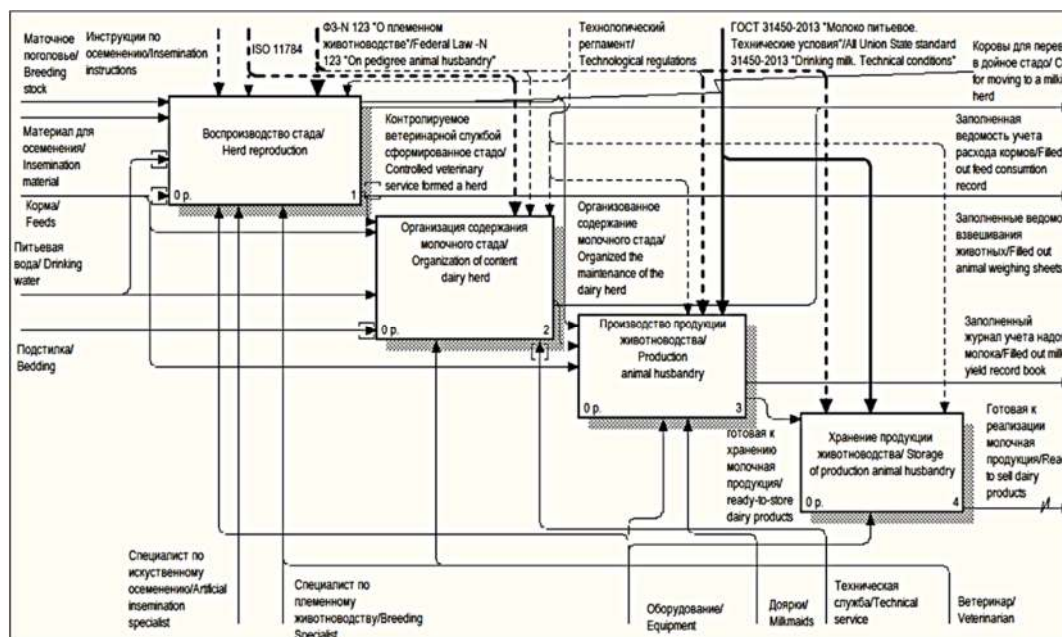


Рисунок 1 – IDEF0 диаграмма «Выполнить производство продукции и услуг»

Figure 1 – IDEF0 diagram «Perform production of products and services»

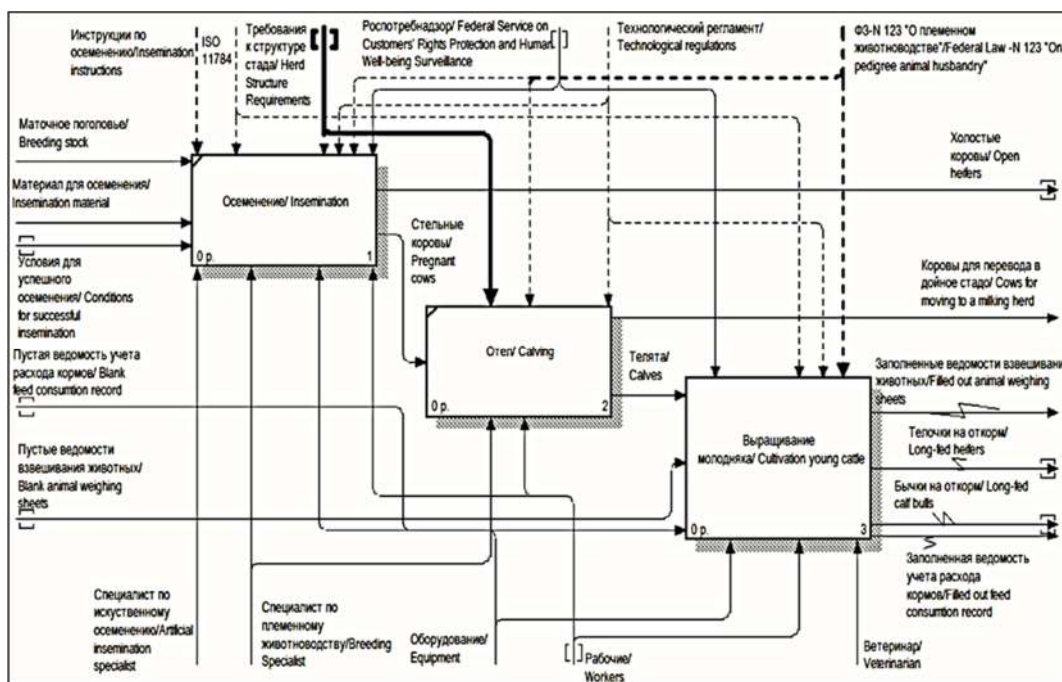


Рисунок 2 – IDEF0 диаграмма «Воспроизводство стада»

Figure 2 – IDEF0 diagram «Herd reproduction»

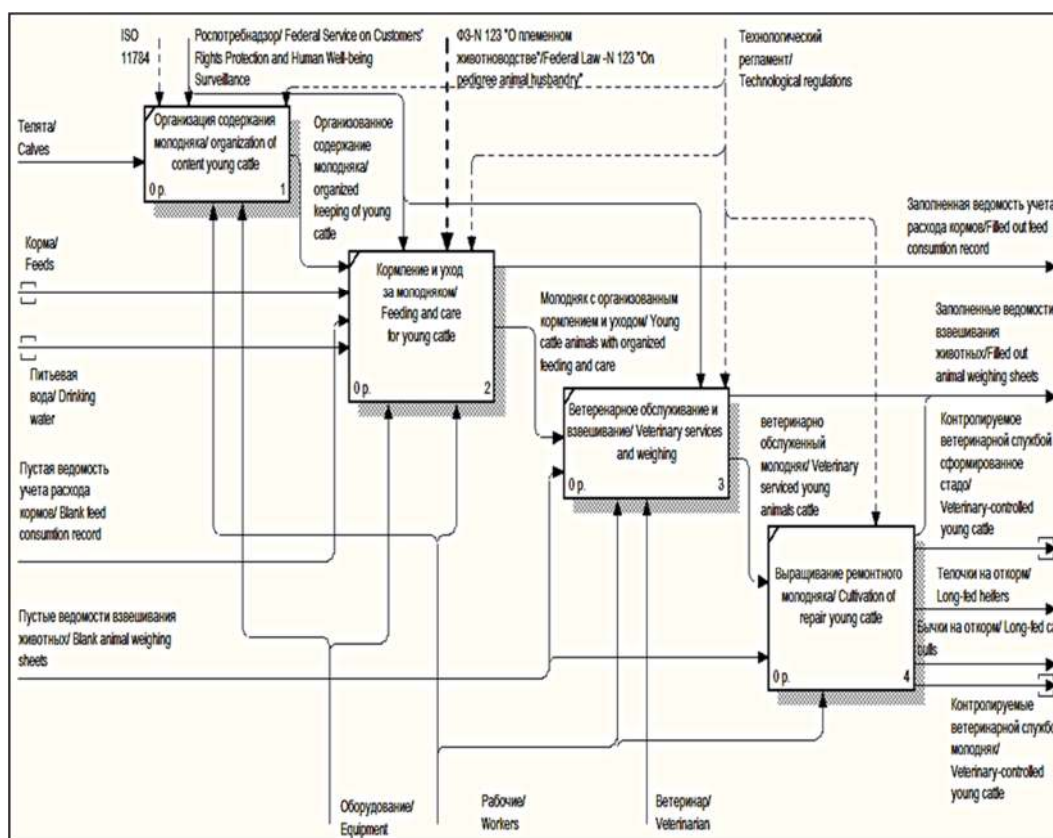


Рисунок 3 – IDEF0 диаграмма «Выращивание молодняка»

Figure 3 – IDEF0 diagram «Growing young cows»

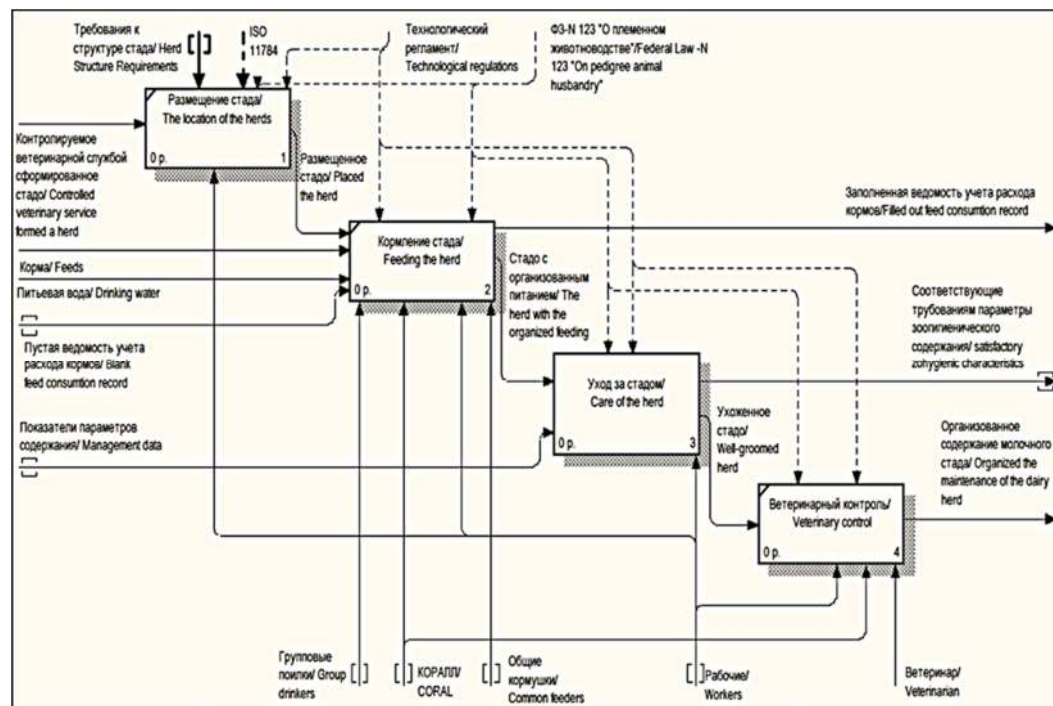


Рисунок 4 – IDEF0 диаграмма «Организация содержания молочного стада»

Figure 4 – IDEF0 diagram «Organization of the content of dairy herds»

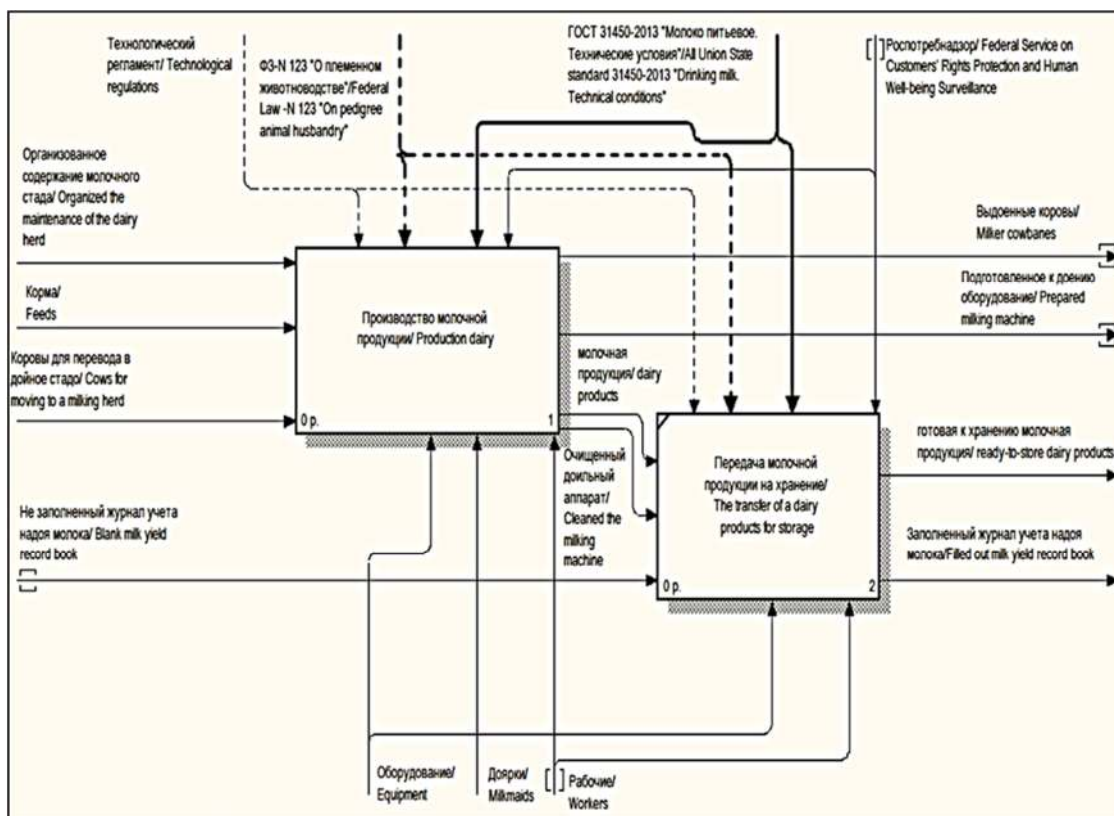


Рисунок 5 – IDEF0 диаграмма «Производство продукции животноводства»

Figure 5 – IDEF0 diagram «Perform livestock production»

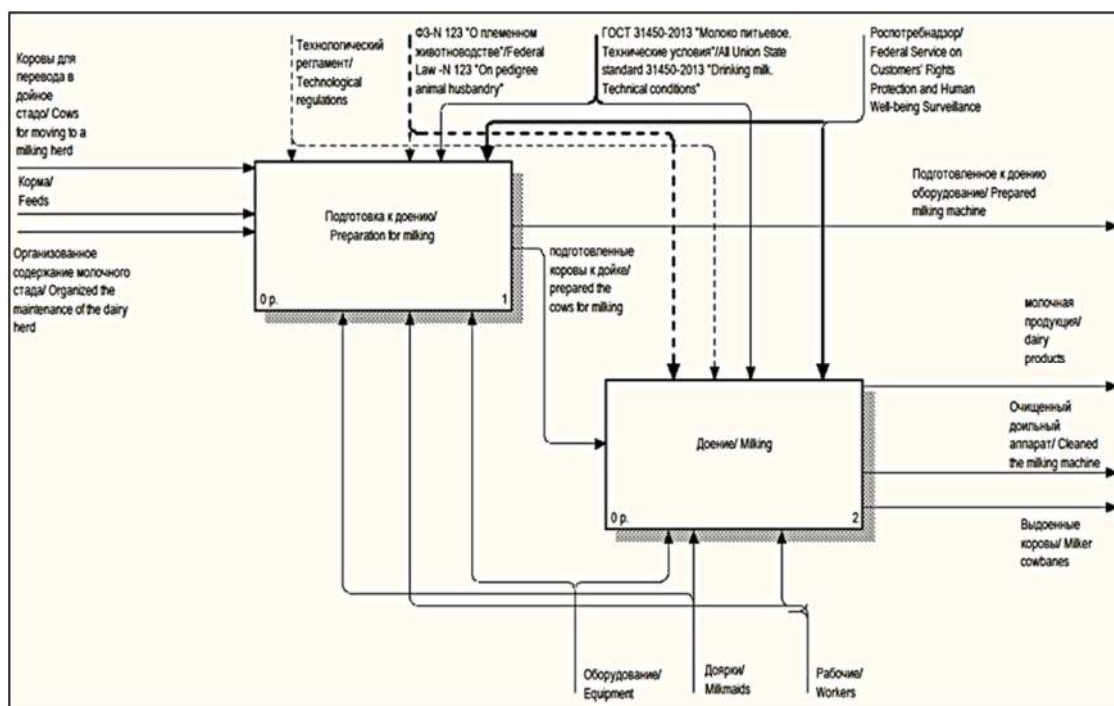


Рисунок 6 – IDEF0 диаграмма «Производство молочной продукции»

Figure 6 – IDEF0 diagram «Make dairy production»

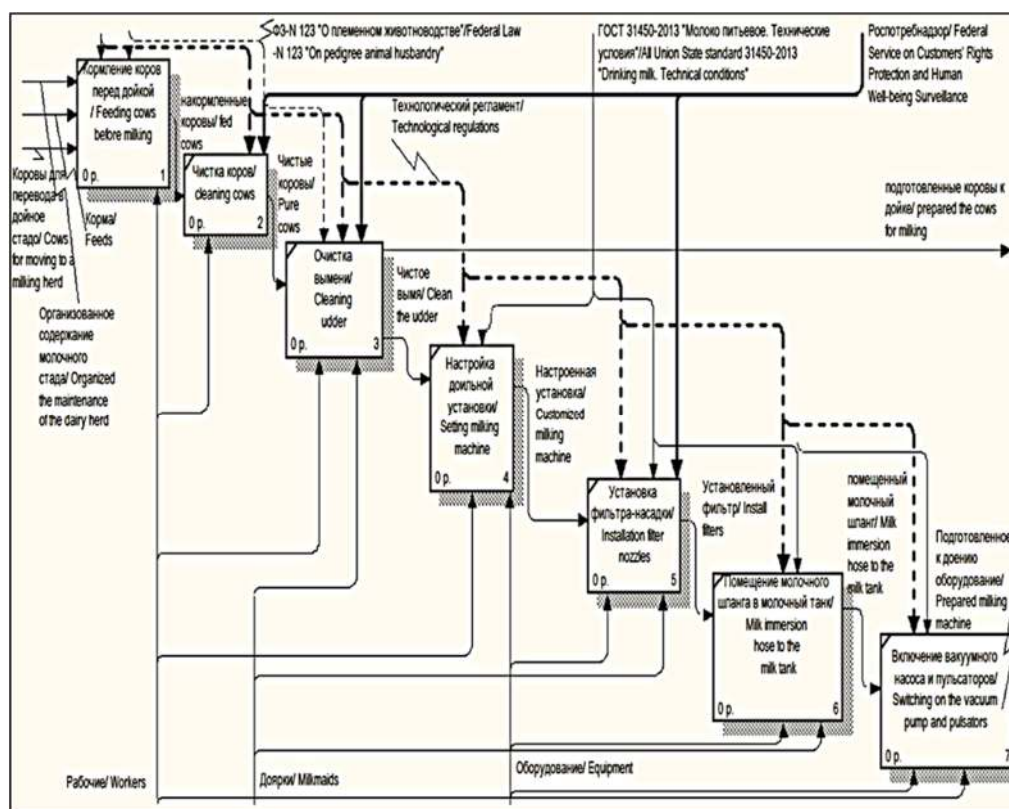


Рисунок 7 – IDEF0 диаграмма «Подготовка к доению»

Figure 7 – IDEF0 diagram «Preparation for Milking»

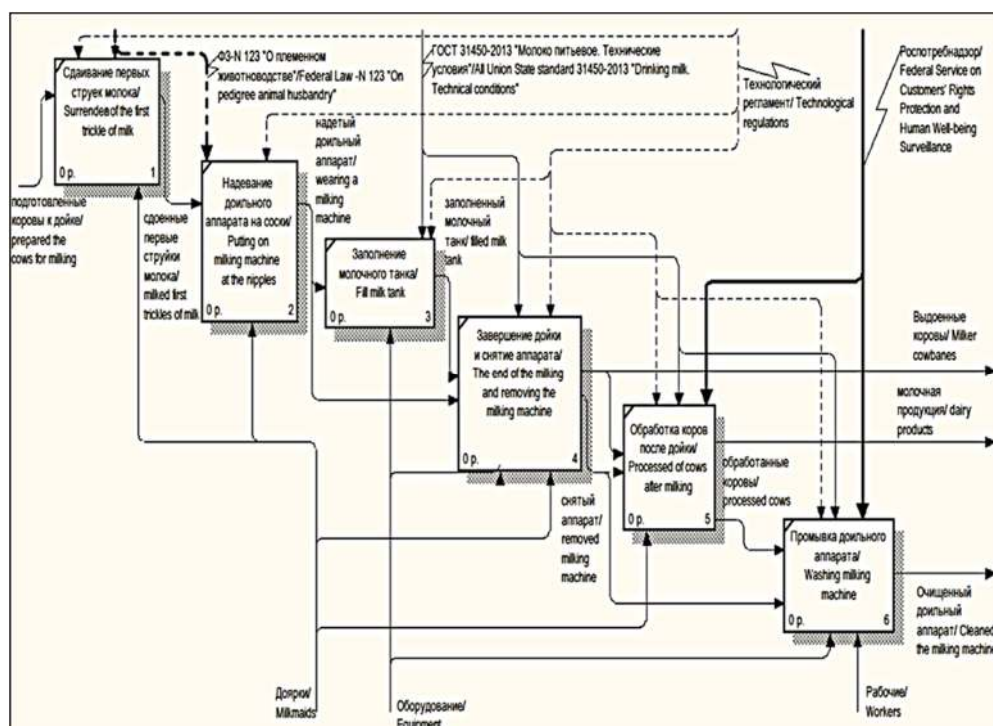


Рисунок 8 – IDEF0 диаграмма «Доеение»

Figure 8 – IDEF0 diagram «Milking»

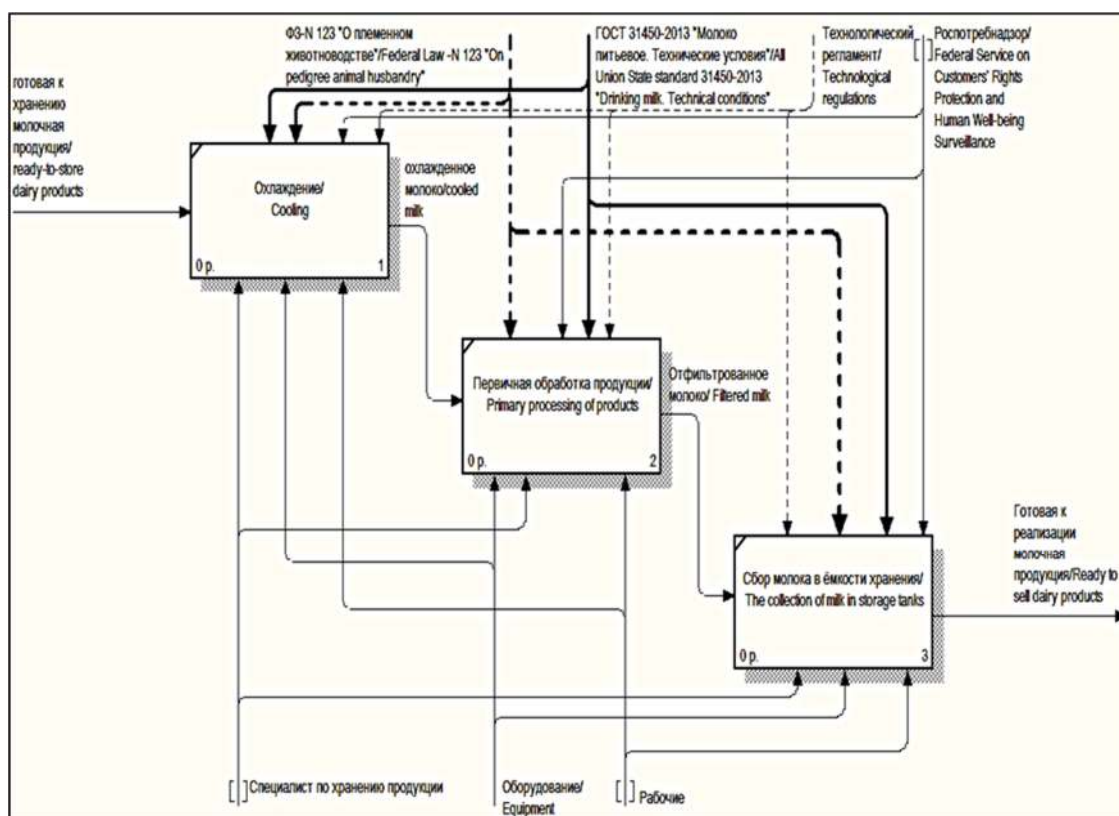


Рисунок 9 – IDEF0 диаграмма «Хранение продукции животноводства»

Figure 9 – IDEF0 diagram « Storage of livestock products»

Обсуждение. Анализ представленных графических моделей показал, что процессы типовых молочных ферм не в полной мере используют прогрессивные средства производства, наукоемкие, цифровые технологии, в то время как для достижения высоких результатов необходима реализация максимального количества факторов технологической оснащённости производства, его индустриализации, эффективных методов управления на основе поддержки принятия решений специалистов [7].

Подавляющее большинство молочных ферм не соблюдает типовые требования к организации бизнес-процессов, что приводит к снижению производительности и эффективности производства.

Требуется совершенствование процессов управления микроклиматом, технологией содержания и управления здоровьем коров. Из диаграмм видно, что на современных молочных комплексах уже используется идентификация животных посредством наушных бирок, однако это не позволяет определять состояние животных, сигнализировать о его изменении и необходимости принятия срочных мер. В то же время имеется возможность производить расчет отклонений производственных параметров от эталонных и на основании опыта специалиста принимать решения об изменении текущего режима содержания коров. Кроме того, в автоматизированном режиме имеется возможность формировать отчетность по количеству и качеству надоев молока для каждой коровы и всего стада.

Закключение. Проведенные исследования бизнес-процессов типовых фермерских хозяйств, занимающихся молочным животноводством, показали, что применение цифровых технологий в них находится на начальном уровне, поскольку выполняются лишь:

идентификация животных, индивидуальный учет надоев, расчет отклонений производственных параметров от эталонных и автоматизация бухгалтерского учета. Несмотря на широкое внедрение чипирования животных на молочных фермах, пока не сформировано единое информационное пространство в сфере племенного животноводства на различных уровнях, обеспечивающее унификацию данных племенного учета и адаптации нормативной правовой базы к реальным условиям племенного животноводства. Отсутствуют системы поддержки принятия решений, которые можно использовать для информирования фермеров о наилучших инфраструктурных и управленческих изменениях для повышения рентабельности инвестиций.

Следует отметить также недостаточное применение цифровых систем, обеспечивающих заданные параметры выполнения технологических процессов и условий пребывания в животноводческих помещениях, а также выбор режимов работы машин, включающих такие операции как подготовка сбалансированных кормовых смесей, индивидуальное дозирование кормов, автоматическое доение, глубокое охлаждение молока, автоматическое регулирование параметров климата в помещениях, сортировка и упаковка готовой продукции. Поэтому важной задачей в ресурсосберегающем и устойчивом производстве молочных продуктов является внедрение цифровых технологий в производственные процессы молочных ферм.

Библиографический список

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/6752>
2. Иванов В. В., Овчинников А. С., Кочеткова О. В. Концептуальные основы цифровой трансформации АПК Волгоградской области // Известия НВ АУК. 2019. 2(54). С. 18-25. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02
3. Моделирование и анализ процесса «Выполнить научные исследования и проектные работы» с целью внедрения цифровых технологий в базовых хозяйствах аграрного вуза / О. В. Кочеткова, А. С. Матвеев, Е. В. Ширяева, Д. П. Арьков // Известия НВ АУК. 2019. 2(54). С. 303-314. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-36.
4. Animal board invited review: Advances in proteomics for animal and food sciences / A. M. Almeida, A. Bassols, E. Bendixen, M. Bhidé, F. Cecilian, S. Cristobal, P. D. Eckersall, K. Hollung, F. Lisacek, G. Mazzucchelli, M. McLaughlin, I. Miller, J. E. Nally, J. Plowman, J. Renaut, P. Rodrigues, P. Roncada, J. Staric and R. Turk // *Animal*. 2015. Vol. 9. P. 1-17.
5. Assessment of an application for touchscreen devices to record calving-related events in dairy herds and monitor personnel performance / A. A. Barragan, J. D. Workman, S. Bas, K. L. Proudfoot and G. M. Schuenemann // *Dairy Sci*. 2016. Vol. 99. P. 5662-5670.
6. Bánáti D. European perspectives of food safety // *Sci. Food Agric*. 2014. V. 94. P. 1941–1946.
7. Breena M., Upton J., Murphy M. D. Development of a discrete infrastructure optimization model for economic valuation on dairy farms (DIOMOND) // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 156. P. 508-522.
8. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare / Y. W. Barkema, M. A. von Keyserlingk, J. P. Kastelic, T. J. Lam, C. Luby, J. P. Roy, S. J. LeBlanc, G. P. Keefe and D. F. Kelton // *Dairy Sci*. 2015. Vol. 98. P. 7426-7445.
9. Hesse A., Bertulat S., Heuwieser W. Survey of work processes on German dairy farms // *Dairy Sci*. 2017. Vol. 100. P. 6583-6591.
10. Manghani K. Quality assurance: Importance of systems and standard operating procedures // *Perspect. Clin. Res*. 2011. Vol. 2. P. 34-37.
11. Questionnaire identifying management practices surrounding calving on spring-calving dairy farms and their associations with herd size and herd expansion / C. Cummins, D. P. Berry, R. Sayers, I. Lorenz and E. Kennedy // *Animal*. 2016. Vol. 10. P. 868-877.

12. Trends in the Northeast dairy industry: Large-scale modern confinement feeding and management-intensive grazing / J. R. Winsten, C. D. Kerchner, A. Richardson, A. Lichau and J. M. Hyman // J. Dairy Sci. 2010. Vol. 93. P. 1759-1769.

Reference

1. Doktrina prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/6752>

2. Ivanov V. V., Ovchinnikov A. S., Kochetkova O. V. Konceptual'nye osnovy cifrovoj transformacii APK Volgogradskoj oblasti // Izvestiya NV AUK. 2019. 2(54). P. 18-25. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02

3. Modelirovanie i analiz processa "Vypolnit' nauchnye issledovaniya i proektnye raboty" s cel'yu vnedreniya cifrovih tehnologij v bazovyh hozyajstvah agrarnogo vuza / O. V. Kochetkova, A. S. Matveev, E. V. Shiryaeva, D. P. Ar'kov // Izvestiya NV AUK. 2019. 2(54). P. 303-314. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-36.

4. Animal board invited review: Advances in proteomics for animal and food sciences / A. M. Almeida, A. Bassols, E. Bendixen, M. Bhide, F. Cecilian, S. Cristobal, P. D. Eckersall, K. Hollung, F. Lisacek, G. Mazzucchelli, M. McLaughlin, I. Miller, J. E. Nally, J. Plowman, J. Renaut, P. Rodrigues, P. Roncada, J. Staric and R. Turk // Animal. 2015. Vol. 9. P. 1-17.

5. Assessment of an application for touchscreen devices to record calving-related events in dairy herds and monitor personnel performance / A. A. Barragan, J. D. Workman, S. Bas, K. L. Proudfoot and G. M. Schuenemann // Dairy Sci. 2016. Vol. 99. P. 5662-5670.

6. Bánáti D. European perspectives of food safety // Sci. Food Agric. 2014. V. 94. P. 1941-1946.

7. Breena M., Upton J., Murphy M. D. Development of a discrete infrastructure optimization model for economic valuation on dairy farms (DIOMOND) // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 156. P. 508-522.

8. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare / Y. W. Barkema, M. A. von Keyserlingk, J. P. Kastelic, T. J. Lam, C. Luby, J. P. Roy, S. J. LeBlanc, G. P. Keefe and D. F. Kelton // Dairy Sci. 2015. Vol. 98. P. 7426-7445.

9. Hesse A., Bertulat S., Heuwieser W. Survey of work processes on German dairy farms // Dairy Sci. 2017. Vol. 100. P. 6583-6591.

10. Manghani K. Quality assurance: Importance of systems and standard operating procedures // Perspect. Clin. Res. 2011. Vol. 2. P. 34-37.

11. Questionnaire identifying management practices surrounding calving on spring-calving dairy farms and their associations with herd size and herd expansion / C. Cummins, D. P. Berry, R. Sayers, I. Lorenz and E. Kennedy // Animal. 2016. Vol. 10. P. 868-877.

12. Trends in the Northeast dairy industry: Large-scale modern confinement feeding and management-intensive grazing / J. R. Winsten, C. D. Kerchner, A. Richardson, A. Lichau and J. M. Hyman // J. Dairy Sci. 2010. Vol. 93. P. 1759-1769.

Информация об авторах

Кочеткова Ольга Владимировна, проректор по стратегическому развитию и информатизации, заведующая кафедрой «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), доктор технических наук.

orCID: <https://orcid.org/0000-0003-4892-1899> E-mail: ovk555@bk.ru

Хорошавин Всеволод Сергеевич, студент четвертого курса направления подготовки «Бизнес-информатика», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

RESEARCH OF DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

А. Ф. Рогачев^{1,2}, доктор технических наук

Е. В. Мелихова^{1,2}, кандидат технических наук

И. С. Белоусов¹, аспирант

A.F. Rogachev^{1,2}, **E.V. Melikhova**^{1,2}, **I.S. Belousov**¹

¹Волгоградский государственный аграрный университет

²Волгоградский государственный технический университет

¹*Volgograd State Agrarian University*

²*Volgograd State Technical University*

Дата поступления в редакцию 28.08.2019

Дата принятия к печати 04.12.2019

Received 28.08.2019

Submitted 04.12.2019

Представлены результаты аналитического обзора применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и искусственных нейронных сетей в сельскохозяйственном производстве. БПЛА могут использоваться в качестве воздушных роботов, выполняющих функции аэрофотосъемки, транспортировки технологических компонентов, таких как средства защиты растений, и выполняющих другие аналогичные функции. Представлена классификация областей применения БПЛА в сельскохозяйственном производстве. Предложенная классификация предполагает упорядочение областей применения БПЛА в сельском хозяйстве в зависимости от используемого состава. Разработана концептуальная модель программного информационно-аналитического комплекса, предназначенного для мониторинга, получения и обработки данных дистанционного зондирования с использованием БПЛА в различных частях спектра. Программный комплекс предназначен для получения и обработки результатов, а также последующего анализа совокупности изображений и рассчитываемых вегетационных индексов. Сформулированы основные исследовательские задачи, решаемые разработанным программным обеспечением, которые определяют его структуру. Для прогнозирования урожайности различных культур разработана методика применения результатов аэрофотосъемки совместно с экспериментальными данными по биологическому развитию сельскохозяйственных культур. С целью практического использования разработанной методики формируется база данных по каждой культуре. Полученные результаты могут использоваться для построения нейросетевых математических моделей взаимосвязи оптико-спектральных характеристик с продуктивностью сельскохозяйственных культур.

The results of an analytical review of the use of unmanned aerial vehicles and artificial neural networks in agricultural production are presented. Unmanned aerial vehicles can be used as air robots, performing the functions of aerial photography, transportation of technological components, such as plant protection products and performing other similar functions. The classification of the fields of application of unmanned aerial vehicles in agricultural production is presented. The proposed classification involves streamlining the areas of application of unmanned aerial vehicles in agriculture, depending on the composition used. A conceptual model of a software information-analytical complex designed to monitor, obtain and process remote sensing data using unmanned aerial vehicles in various parts of the spectrum has been developed. The software package is designed to obtain and process the results, as well as the subsequent analysis of the totality of images and calculated vegetation indices. The main research problems are formulated that are solved by the developed software, which determine its structure. To predict the yield of various crops, a methodology has been developed for applying the results of aerial photography in conjunction with experimental data on the biological develop-

ment of crops. For the purpose of practical use of the developed methodology, a database is formed for each culture. The results can be used to build neural network mathematical models of the relationship of optical spectral characteristics with crop productivity.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, урожайность сельхозкультур, вегетационные индексы, мониторинг агрофитоценозов, беспилотные летательные аппараты.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, урожайность, вегетационный индекс, мониторинг, беспилотные летательные аппараты.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области по проекту № 19-416-340014 «Создание нейросетевой системы управления программируемым аграрным производством с использованием ретроспективных данных и результатов дистанционного зондирования для засушливых условий Волгоградской области»

Цитирование: Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В., Белоусов И. С. Исследование развития и продуктивности сельскохозяйственных культур с применением беспилотных летательных аппаратов. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 329-339. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-38.

Citation: Rogachev A. F., Melikhova E. V., Belousov I.S. Research of development and productivity of agricultural crops using unmanned aerial vehicles. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 329-339 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-38.

Введение. Решение проблем обеспечения продовольственной безопасности путем индустриализации аграрного производства требует создания и исследования новых технологий и технических средств для получения информации в режиме Online [5, 0, 0, 0, 18]. Расширение сфер применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в аграрном производстве обусловлено необходимостью получения достоверной оперативной информации по состоянию агрофитоценозов за весь период вегетации.

Спектр использования БПЛА в аграрном производстве очень широк: мониторинг сельскохозяйственных угодий и пастбищ, оценка объема работ и контроль их выполнения, охрана сельхозугодий [0, 5]. В настоящее время применяют различные виды и типы БПЛА: самолётного типа, вертолётного типа, беспилотные квадрокоптеры (дроны), гибридные подклассы аппаратов [10, 11, 22]. Проведенный анализ использования БПЛА в аграрном производстве показал, что их часто используют в качестве воздушных роботов, которые могут выполнять функцию как аэрофотосъёмки, так и доставки средств защиты растений и выполнения других функций. Квадрокоптеры также можно использовать для создания 3D моделей различных объектов (зданий, технологических сооружений, мелиоративных объектов и гидротехнических сооружений), либо небольших участков полей площадью менее 0,8 га.

Исследованием конструктивных схем и параметров БПЛА в аграрном производстве посвящены работы ученых Якушева В. П., Полуэктова Р. А. [6], Михайленко И. М., Петрушина А. Ф., Якушева В. В. [2] Frohlich H., Walter E., Joseph G. и др. Исследователи отмечают возможность детальной оценки характера и степени влияния на урожайность фактических почвенно-климатических, агрометеорологических и других аспектов, включая возможность получения информативных показателей вегетационных индексов, дистанционно получаемых в различных диапазонах спектров отражения растениями [13, 16].

Отдельной проблемой является оперативная обработка информации, поступающей от видеокамер и радиометрических датчиков, размещаемых на мобильных носителях. Отечественные и зарубежные публикации в области построения и совершенство-

вания архитектуры искусственных нейронных сетей (ИНС) (Е. С. Борисов, J.-S.R. Jang, L.-X. Wang, J. M. Mendel, T. Takagi, M. Sugeno, R. Fuller, O. Nelles) показывают широкие возможности их адаптации под особенности предметной области. Геоэкономические методы оценки позволяют использовать большие массивы данных и сравнивать различные по продуктивности участки поля и поля в целом между собой, опираясь на вполне конкретное варьирование величины урожайности. Современные ИТ позволяют проводить анализ и выявлять роль конкретных факторов и их групп [13, 19, 21], влияющих на урожайность культур и продуктивность земель, уточнить нормативы минерального питания и внесения мелиорантов с учетом севооборотов, что позволяет выявить закономерности и использовать их для формирования устойчивых урожаев [13].

Материалы и методы. В проведенном аналитическом обзоре методических подходов к оценке уровня продуктивности сельскохозяйственных культур использовались следующие методы и частные методики. Для обоснования укрупненных групп факторов на основе системы показателей целесообразно применять экспертный метод анализа иерархий, использующий статистические данные, структурированные с использованием реляционной БД. На основе полученной системы показателей осуществляется формирование инфологической и информационной моделей в виде структуры факторов, их связей и функций принадлежности для нечетко-множественного описания, обеспечивающих их системное моделирование. Значительное количество, разнородность и разброс природно-климатических, агробиологических и технико-технологических значений исходных данных потребовали применение методов искусственного интеллекта (ИИ / AI) для их отбора, систематизации и непосредственно оценки с целью прогнозирования уровня продуктивности сельскохозяйственных культур.

Среди базовых подходов и инструментальных средств были отобраны, как более ориентированные на предметную область оценки продуктивности сельскохозяйственных культур, методы ИИ, включая глубокое машинное обучение, когнитивное моделирование (построение и параметризация нечетких когнитивных карт) [19, 22, 23], моделирование на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) [4, 0], а также методы классификации изображений и распознавания образов. Цветные крупномасштабные изображения участков сельскохозяйственных полей рекомендуется получать видеокамерами высокого разрешения, например квадрокоптеров семейства DGI Phantom 4 и их модификаций.

Результаты и обсуждение. На БПЛА может быть установлено различное функциональное оборудование: тепловизоры, мультиспектральные и ИК-камеры и др. С помощью получаемых видеокамерами БПЛА данных можно создать ортофотопланы и 3D-модели местности, создать карту высот, определить состояние почвы и посевов. Систематизация областей применения БПЛА в аграрном производстве, в зависимости от целей использования, представлена на схеме (рисунок 1).

Беспилотные ЛА можно применять в различных отраслях аграрного производства: в полеводстве, животноводстве, мелиорации почв, агроэкологии, в сфере мониторинга и охраны земель, в строительстве гидротехнических сооружений и т.д. БПЛА могут нести и другое функциональное оборудование: технологическое оборудование, мультиспектральные и инфракрасные камеры, тепловизоры и т. д.

Практика показывает, что спутниковые снимки в зависимости от погодных условий могут содержать искаженные данные [3]. В действительности на них оказывают влияние атмосферные условия, влияющие на интенсивность прохождения света и его отражение, при этом получаемые от спутников данные не калибруются в зависимости от погодных условий. Когда же съемка осуществляется посредством квадрокоптеров, в бригаде могут быть пилот и специалист по съемке, в чьи обязанности входит проведение атмосферной калибровки, которая позволяет сравнивать снимки независимо от условий их получения.



Рисунок 1 – Классификация методов применения БПЛА в аграрном производстве

Figure 1 – Classification of methods the use of UAVs in agricultural production

В таблице 1 представлены возможные функциональные возможности применяемых средств дистанционного зондирования сельскохозяйственных земель.

Таблица 1 – Анализ применения средств дистанционного зондирования в аграрном производстве

Table 1 – Analysis of the application of remote sensing in agricultural production

Функциональное применение / Functional application	Источник получаемых данных / The source of the received data			
	Спутник / Satellite	Квадрокоптер / Quadcopter	БПЛА само- летного типа / UAV aircraft type	Мобильные техноло- гические агрегаты / Mobile technological units
Определение равномерности посева / Determination of the uniformity of seeding	+ -	+	+	-
Оценка почвенного покрова / Assessment of the soil cover	+	+	+	+
Определение засоренности поля / Determination of the debris field	+ -	+	+	-
Определение влажности почвы / Determination of soil moisture	-	-	-	+
Определение площади посевов / Determination of soil moisture	+	+	+	-
Технологический контроль / Technological control	+ -	+	+	+ -

Некоторые перечисленные возможности существенно ограничены погодными условиями, например, определение равномерности посевов и технологический контроль при использовании спутниковых данных. Тяжелые квадрокоптеры также можно использовать для выполнения технологических операций, например, внесения средств защиты растений с малообъемным мелкодисперсным оборудованием. На сегодняшний день для осуществления этих функций необходимы научно-технологические разработки, включая емкие и легкие аккумуляторы для дронов и повышение точности картографии.

Для автоматизированного поиска и отбора релевантной информации для оценки и прогнозирования уровня продуктивности сельскохозяйственных культур наиболее сложной проблемой явилась автоматизированная оценка принадлежности количественной и качественной информации к исследуемой предметной области [18] с определением вегетационных индексов NDVI. Такая постановка может быть сведена к задаче множественной классификации изображений, для которой исходной является графическая информация, получаемая от мобильных носителей. В частности, для решения задачи выявления неоднородности посевов, влияющей на урожайность сельскохозяйственных культур, была разработана искусственная нейронная сеть (ИНС). Для формирования обучающей, проверочной и тестирующей выборок были использованы цветные изображения, получаемые с помощью квадрокоптеров. Примеры изображений равномерного развития и дефектных участков посевов растений приведены на рисунке 2.



а б
Рисунок 2 – Типичные изображения используемые для обучения ИНС

Figure 2 – Typical images used for the ANN training

Задача классификации решалась в следующей постановке. Для цветного изображения, получаемого видеокамерой БПЛА и подаваемого на вход разработанной ИНС, определить класс, к которому оно относится: участки полей с равномерным развитием растений (рисунок 2а) или участки с дефектами (засорённость посевов, неравномерный посев, поражение растений болезнями и вредителями и т.д.). Ввиду ограниченного объема полученных выборок изображений для обучения ИНС использовались генераторы, позволяющие формировать необходимые datasets.

Результаты обучения разработанной авторами ИНС, ориентированной на представленные изображения, приведены на рисунке 3. Сложность решения задач классификации в описанной постановке связана с необходимостью предобработки исходной информации, подаваемой на вход ИНС, а также обоснования архитектуры и гиперпараметров разрабатываемой ИНС или их ансамбля. Различием вариантов а) и б) на рисунке 3 обусловлено стохастическим выбором начальных совокупностей весовых коэффициентов нейронов ИНС, а также различием обучающих и проверочных выборок анализируемых изображений. Кроме того, для реализации глубокого обучения проектируемых ИНС требуются весьма обширные выборки предварительно размеченных данных для различных вариантов неоднородности посевов. При этом по известным рекомендациям как простейшие полносвязные ИНС, так и рекуррентные сети не обеспечивают требуемые показатели качества классификации, даже при значительных обучающих выборках.

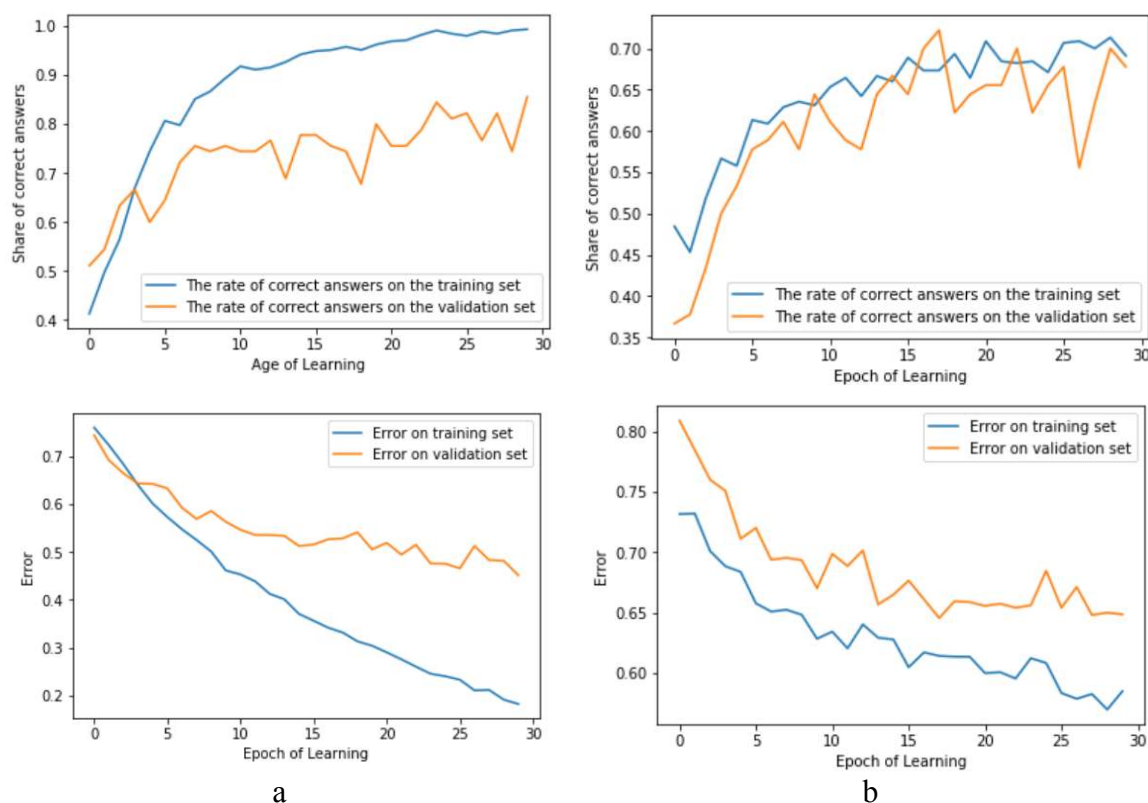


Рисунок 3 – Примеры диаграмм обучения разработанной ИНС при выявлении неоднородностей посевов

Figure 3 – Examples of the developed by learning the ANN diagrams when identifying crops inhomogeneities

Концептуальная модель разрабатываемого программного комплекса для прогнозирования и оперативного управления сельскохозяйственным производством предусматривает дополнительно учет и ретроспективной информации об урожайностях соответствующих сельскохозяйственных культур. Эта информация в форме многолетних временных рядов (ВР) предусматривает решение задачи регрессии. Для решения этой задачи используется отдельный модуль ИНС, на вход которого подаются структурированные числовые данные.

В связи с этим для проектирования специализированной части ИНС была принята архитектура LSTM (Long short-term memory), структура элемента основного слоя которой представлена на рисунке 4.

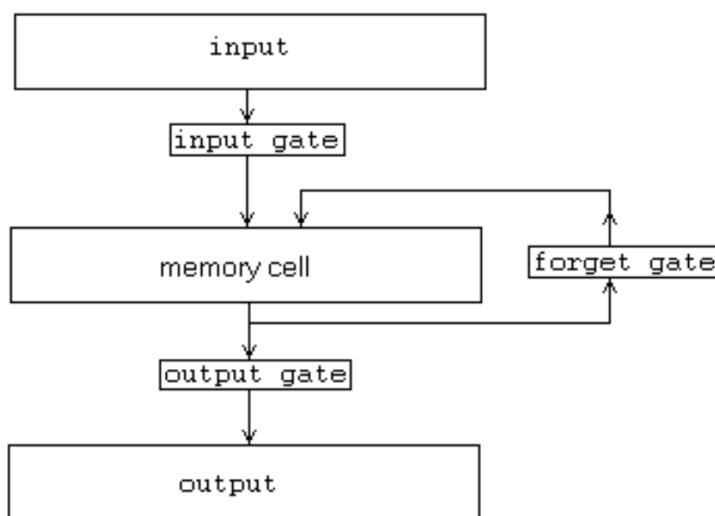


Рисунок 4 – Схема структуры ИНС типа LSTM

Figure 4 – LSTM-type ANN structure diagram

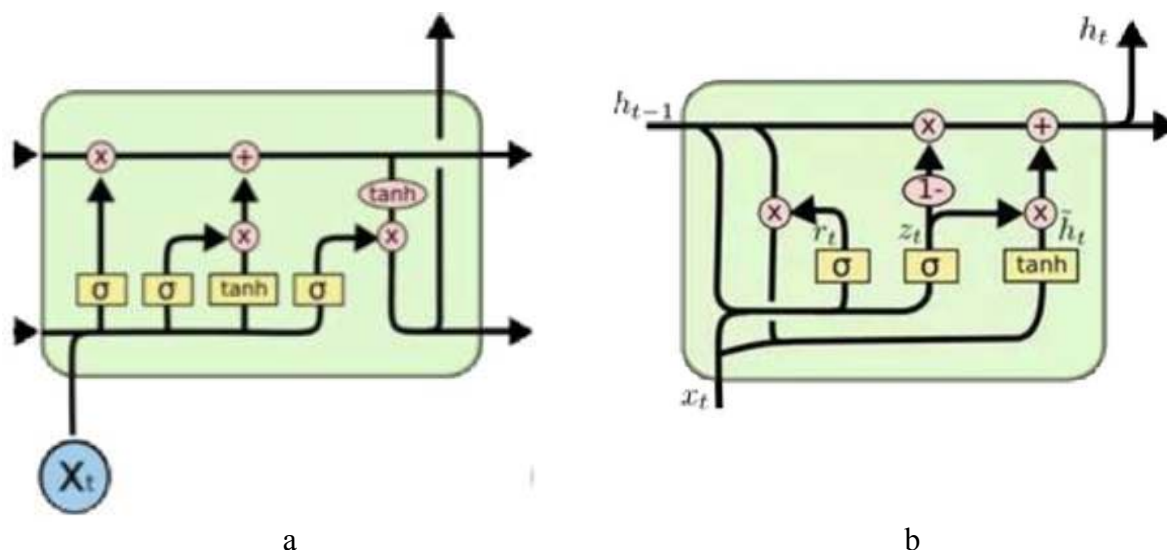


Рисунок 5 – Схема единичного элемента промежуточного слоя ИНС типа LSTM

Figure 5 – The scheme of a single element of the intermediate layer ANN type LSTM

Каждая из ячеек промежуточного слоя содержит три типа взаимосвязанных фильтров (входной, промежуточный и выходной), несколько нейронов с разнородными функциями активации (сигмоидальной и гиперболический тангенс), а также управляет

мые сумматоры, обеспечивающие коммутацию передаваемых сигналов (рисунок 5а). Для обучения сети типа LSTM можно рекомендуют метод обратного распространения с разворачиванием сети во времени ВРПТ (backpropagation through time) [2], который является модификацией метода градиентного спуска. При всех достоинствах такой архитектуры ИНС – возможность обучения для сложных темпоральных комбинаций данных, её обучение занимает весьма продолжительное время, которое, в зависимости от объемов обучающих и тестовых выборок, а также конфигурации и быстродействия используемых компьютеров, может измеряться часами и сутками.

Для устранения отмеченных недостатков может применяться модифицированный вариант [17] рекурсивной ИНС с памятью, схема которого представлена на рисунке 5б.

Такая структура имеет фактически три входа-выхода, математический алгоритм взаимодействия которых описывается системой уравнений (1)-(4):

$$z_t = \sigma(W_z \cdot [h_{t-1}, x_t]) \quad (1)$$

$$\tau_t = \sigma(W_\tau \cdot [h_{t-1}, x_t]) \quad (2)$$

$$\tilde{h}_t = \tanh(W \cdot [\tau_t * h_{t-1}, x_t]) \quad (3)$$

$$h_t = (1 - z_t) * h_{t-1} + z_t * \tilde{h}_t, \quad (4)$$

где x_t – входной сигнал каждой ячейки слоя; h_t и h_{t-1} – промежуточные сигналы, передаваемые между одинаковыми элементами-ячейками скрытого слоя ИНС; σ – сигмоидальная функция активации нейрона; $\tanh$ – функция активации нейрона в виде гиперболического тангенса.

Обучение рекурсивной ИНС такой архитектуры занимает существенно меньше времени, чем ранее описанной классической LSTM, что особенно важно при подборе гиперпараметров ИНС и способов предобработки входных данных при глубоком машинном обучении. После выбора оптимальной архитектуры, построения и компиляции ИНС в среде Google Colaboratory (<https://github.com/deepmipt/dlschl/wiki/Инструкция-по-работе-с-Google-Colab>) планируется ее оптимизация и проведение численных исследований эффективности разрабатываемой ИНС.

Заключение. Проведенное исследование позволило сформулировать следующие выводы. Рассмотренные подходы к дистанционной оценке продуктивности сельскохозяйственных культур на основе БПЛА и разработанного программного обеспечения, в частности компьютерных средств с использованием ИНС, позволяют использовать значительные объемы разнородной информации их статистических БД. Применение нейронных сетей архитектуры LSTM и её модификаций позволяет решать задачи оперативного построения регрессии при автоматизированном выявлении дефектных участков сельскохозяйственных полей. Дистанционная оценка состояния и выявление краткосрочных тенденций динамики изменения оптико-спектральных показателей развития культур позволяют выявлять дефекты развития с помощью ИНС методами глубокого машинного обучения.

Полученные результаты могут быть использованы для построения и компьютерной реализации нейросетевых моделей, описывающих закономерности взаимосвязей оптико-спектральных характеристик агроценозов с урожайностью сельскохозяйственных культур в аграрном производстве.

Библиографический список

1. Башилов А. М., Королев В. А. Автономные беспилотные летательные аппараты в точных системах агропроизводства // Вестник аграрной науки Дона. 2018. Т. 3. № 43. С. 76-82.
2. Борисов Е. С. Рекуррентная сеть LSTM. 2017. URL: <http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-lstm.html>.

3. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М. : ДМК Пресс, 2018. 652 с.
4. Заводчиков Н. Д., Спешилова Н. В., Таспаев С. С. Использование нейросетевых технологий в прогнозировании эффективности производства зерна // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (51). С. 216-219.
5. Захарова Р. В., Гайнутдинов И.Г. Применение беспилотного летательного аппарата при десикации масличных культур // Вектор экономики. 2018. № 11 (29). С. 118.
6. Каширина И. Л., Демченко М. В. Исследование и сравнительный анализ методов оптимизации, используемых при обучении нейронных сетей // Вестник ВГУ, Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2018. № 4. С. 123-132.
7. Михайленко И. М. Развитие методов и средств применения данных дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 41-3. С. 70-83.
8. Михайленко И. М. Управление агротехнологиями и роботизированные и роботизированные средства реализации // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1 (30). С. 242-258.
9. Николенко С., Кадуринов А., Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб. : Питер, 2018. 480 с.
10. Савин И. Ю., Вернюк Ю. И., Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. №80. С. 95-105.
11. Сулейманов С. Р., Логинов Н. А. Перспектива использования дистанционного зондирования земли и БПЛА в сельском хозяйстве Татарстана // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. Т. 12. № 4 (46). С. 17-19.
12. Юн Г. Н., Мединский Д. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Наукоємні технології. 2017. Т. 36. № 4. С. 35-41.
13. Estimation of condition of cultivated pastures under remote sensing of earth / V. I. Trukhachev et al // Engineering for Rural Development Proceedings. 2019. P. 442-449.
14. Jordan J. Intro to optimization in deep learning: Gradient Descent. Paperspace. Series: Optimization. 2018. URL: <https://blog.paperspace.com/intro-to-optimization-in-deep-learning-gradient-descent/>.
15. Kawaguchi K. Deep Learning without Poor Local Minima. Advances in Neural Information Processing Systems. 2016. URL: <http://arxiv.org/abs/1605.07110>.
16. Kitonsa H., Kruglikov S. V. Significance of drone technology for achievement of the united nations sustainable development goals // R-Economy. 2018. Vol. 4. № 3. P. 115-120.
17. LSTM: A Search Space Odyssey / G. Klaus, K. Sr. Rupesh, J. Koutní k, R. Bas, J. S. Steunebrink. 2017. URL: <http://arxiv.org/abs/1503.04069>
18. Rogachev A. F. Computer Modeling of the Development of Russian Small Towns on the Basis of Cognitive Maps. In: Russia and the European union: development and perspectives // Contributions to Economics. 2017. P. 113-118.
19. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Shokhnekh A. V. Monitoring and economic & mathematical modeling of manufacture and consumption of agricultural products as a tool of food security management // Espacios. 2018. Vol. 39. № 1. P. 1.
20. Rogachev A. F., Miziakina O. B., Myagkova T. L. Food Security of Region as Component of Economic Security // Revista ESPACIOS. 2018. Vol. 39 (№03). P. 23.
21. Rogachev A. F., Popkova E., Ostrovskaya V. Fuzzy Set Modeling of Regional Food Security // Perspectives on the Use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. ISC 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 726. Springer, Cham.
22. Rogachev A. F., Shokhnekh A. V., Melikhova E. V. Monitoring and Economic & Mathematical Modeling of Manufacture and Consumption of Agricultural Products as a Tool of Food Security Management // Revista ESPACIOS. 2018. Vol. 39 (№ 01). P. 1.
23. Ruder S. An overview of gradient descent optimization algorithms // Cornell University Library. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1609.04747>.

24. Schraudolph N. N., Yu J., Gunter S. A Stochastic Quasi-Newton Method for Online Convex Optimization // Statistical Machine Learning. 2017. URL: <http://proceedings.mlr.press/v2/schraudolph07a/schraudolph07a.pdf>.
25. The Marginal Value of Adaptive Gradient Methods in Machine Learning / A. Wilson, C. R. Roelofs, M. Stern, N. Srebro, B. Recht // Cornell University Library. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1705.08292>.
26. Understanding deep learning requires rethinking generalization / C. Zhang, S. Bengio, M. Hardt, B. Recht, O. Vinyals // Cornell University Library. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1611.03530>.

Reference

1. Bashilov A. M., Korolev V. A. Avtonomnye bespilotnye letatel'nye ap-paraty v tochnyh sistemah agroproduktstva // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2018. Vol. 3. № 43. P. 76-82.
2. Borisov E. S. Rekurrentnaya set' LSTM. 2017. URL: <http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-lstm.html>.
3. Gudfellow Ya., Bendzhio I., Kurvill' A. Glubokoe obuchenie. M. : DMK Press, 2018. 652 p.
4. Zavodchikov N. D., Speshilova N. V., Taspaev S. S. Ispol'zovanie nejrosetevykh tekhnologij v prognozirovanii jeffektivnosti proizvodstva zerna // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 1 (51). P. 216-219.
5. Zaharova R. V., Gajnutdinov I. G. Primenenie bespilotnogo letatel'nogo apparata pri desi-kacii maslichnykh kul'tur // Vektor jekonomiki. 2018. № 11 (29). P. 118.
6. Kashirina I. L., Demchenko M. V. Issledovanie i sravnitel'nyj analiz metodov optimizacii, ispol'zuemykh pri obuchenii nejronnykh setej // Vestnik VGU, Ser.: Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii. 2018. № 4. P. 123-132.
7. Mihajlenko I. M. Razvitie metodov i sredstv primeneniya dannykh distancionnogo zondirovaniya zemli v sel'skom hozyajstve // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2018. № 41-3. P. 70-83.
8. Mihajlenko I. M. Upravlenie agrotekhnologiyami i robotizirovannye i robotizirovannye sredstva realizacii // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2019. № 1 (30). P. 242-258.
9. Nikolenko C., Kadurin A., Arhangel'skaya E. Glubokoe obuchenie. SPb. : Pi-ter, 2018. 480 p.
10. Savin I. Yu., Vernyuk Yu. I., Faraslis I. Vozmozhnosti ispol'zovaniya bespilotnykh le-tatel'nykh apparatov dlya operativnogo monitoringa produktivnosti pochv // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2018. №80. P. 95-105.
11. Sulejmanov S. R., Loginov N. A. Perspektiva ispol'zovaniya distancionnogo zondirovaniya zemli i BPLA v sel'skom hozyajstve Tatarstana // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrar-nogo universiteta. 2017. T. 12. № 4 (46). P. 17-19.
12. Yun G. N., Medinskij D. V. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom ho-zyajstve // Naukoemni tekhnologii. 2017. T. 36. № 4. P. 35-41.
13. Estimation of condition of cultivated pastures under remote sensing of earth / V. I. Trukhachev et al // Engineering for Rural Development Proceedings. 2019. P. 442-449.
14. Jordan J. Intro to optimization in deep learning: Gradient Descent. Paperspace. Series: Optimi-zation. 2018. URL: <https://blog.paperspace.com/intro-to-optimization-in-deep-learning-gradient-descent/>.
15. Kawaguchi K. Deep Learning without Poor Local Minima. Advances in Neural Infor-mation Processing Systems. 2016. URL: <http://arxiv.org/abs/1605.07110>.
16. Kitonsa H., Kruglikov S. V. Significance of drone technology for achievement of the unit-ed nations sustainable development goals // R-Economy. 2018. Vol. 4. № 3. P. 115-120.
17. LSTM: A Search Space Odyssey / G. Klaus, K. Sr. Rupesh, J. Koutni k, R. Bas, J. S. Steunebrink. 2017. URL: <http://arxiv.org/abs/1503.04069>
18. Rogachev A. F. Computer Modeling of the Development of Russian Small Towns on the Basis of Cognitive Maps. In: Russia and the European union: development and perspectives // Contri-butions to Economics. 2017. P. 113-118.
19. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Shokhnekh A. V. Monitoring and economic & mathe-matical modeling of manufacture and consumption of agricultural products as a tool of food security management // Espacios. 2018. Vol. 39. № 1. P. 1.

20. Rogachev A. F., Mizyakina O. B., Myagkova T. L. Food Security of Region as Component of Economic Security // Revista ESPACIOS. 2018. Vol. 39 (№03). P. 23.
21. Rogachev A. F., Popkova E., Ostrovskaya V. Fuzzy Set Modeling of Regional Food Security // Perspectives on the Use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. ISC 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 726. Springer, Cham.
22. Rogachev A. F., Shokhnekh A. V., Melikhova E. V. Monitoring and Economic & Mathematical Modeling of Manufacture and Consumption of Agricultural Products as a Tool of Food Security Management // Revista ESPACIOS. 2018. Vol. 39 (№ 01). P. 1.
23. Ruder S. An overview of gradient descent optimization algorithms // Cornell University Library. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1609.04747>.
24. Schraudolph N. N., Yu J., Gunter S. A Stochastic Quasi-Newton Method for Online Convex Optimization // Statistical Machine Learning. 2017. URL: <http://proceedings.mlr.press/v2/schraudolph07a/schraudolph07a.pdf>.
25. The Marginal Value of Adaptive Gradient Methods in Machine Learning / A. Wilson, C. R. Roelofs, M. Stern, N. Srebro, B. Recht // Cornell University Library. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1705.08292>.
26. Understanding deep learning requires rethinking generalization / C. Zhang, S. Bengio, M. Hardt, B. Recht, O. Vinyals // Cornell University Library. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1611.03530>.

Информация об авторах

Рогачев Алексей Фруминович, зав. кафедрой "Математическое моделирование и информатика" Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), доктор технических наук, профессор <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Мелихова Елена Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), <https://orcid.org/0000-0002-4041-4270>, melv07@mail.ru

Белоусов Илья Станиславович, аспирант кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), peznaukaknazvatmail@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

УДК 621.436.1

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-39

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФОРСУНКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

IMPROVING THE RELIABILITY OF NOZZLE OF THE DIESEL ENGINE

А. И. Ряднов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А. В. Федоров², студент

A. I. Ryadnov¹, A. V. Fedorov²

¹Волгоградский государственный аграрный университет,

²Волгоградский государственный технический университет

¹Volgograd State Agrarian University,

²Volgograd State Technical University

Дата поступления в редакцию 15.08.2019

Дата принятия к печати 12.11.2019

Received 15.08.2019

Submitted 12.11.2019

Дизельные двигатели, используемые на автомобилях, тракторах, комбайнах и другой технике при увеличивающейся на них нагрузке, должны иметь высокий уровень надежности. Надежность дизельных двигателей во многом определяется уровнем надежности топливной аппаратуры, и в том числе ее элемента – форсунки. Обзор научных работ как отечественных,

так и зарубежных ученых показал необходимость повышения надежности форсунки путем разработки новой конструкции. Новая конструкция форсунки должна обеспечивать показатели ее эффективности на необходимом уровне. Одним из важнейших показателей работы форсунки является гидроплотность ее распылителя. Цель настоящей работы – сравнить гидроплотность распылителей серийной форсунки и форсунки новой конструкции в зависимости от наработки двигателя. В настоящей работе предложена новая конструкция форсунки дизельного двигателя. В отличие от серийной форсунки, например ФД-22, устанавливаемой на двигателе Д-245, в форсунке новой конструкции не используется важная деталь распылителя – запорная игла, обеспечивающая доступ топлива в камеру сгорания двигателя. В новой конструкции форсунки отсек топлива осуществляет запорный клапан при повороте на малый угол от момента пары сил, создаваемого насосом высокого давления дизеля. При этом запорный клапан не совершает ни возвратно-поступательного, ни одновременно возвратно-поступательного и вращательного движений. Это позволяет существенно снизить по сравнению с серийными форсунками износ сопрягаемых поверхностей и тем самым повысить ее надежность и срок эксплуатации. Результаты сравнительных испытаний серийной форсунки ФД-22 и форсунки новой конструкции, установленных на двигателе Д-245, показали, что форсунка новой конструкции обеспечивает необходимую гидроплотность распылителя форсунки при наработке более 4800 мото-ч, что выше, чем у серийной форсунки, в 1,7 раза.

Diesel engines used in automobiles, tractors, harvesters and other equipment with an increasing load on them must have a high level of reliability. Reliability of diesel engines is largely determined by the level of reliability of fuel equipment and, in particular, its element - nozzles. A review of the scientific work of both domestic and foreign scientists showed the need to improve the reliability of the nozzle by developing a new design. The new nozzle design should provide indicators of its efficiency at the required level. One of the most important indicators of the nozzle is the water density of its atomizer. The purpose of this work is to compare the hydro-density of the atomizers of a serial nozzle and a nozzle of a new design, depending on the engine operating time. In the present work, a new design of a diesel engine nozzle is proposed. Unlike a serial nozzle, for example, «FD-22», mounted on a «D-245» engine, the nozzle of a new design does not use the most important part of the atomizer - a locking needle, which provides access to fuel to the combustion chamber of the engine. In the new nozzle design, the shut-off valve performs the fuel shut-off when turning a small angle from the moment of the pair of forces created by the diesel high-pressure pump. In this case, the shutoff valve does not perform reciprocating, nor simultaneously reciprocating and rotational movements. This allows to significantly reduce wear of mating surfaces in comparison with serial nozzles and thereby increase its reliability and service life. The results of comparative tests of the serial nozzle «FD-22» and the nozzle of a new design installed on the «D-245» engine showed that the nozzle of the new design provides the necessary hydraulic density of the nozzle atomizer when the operating time is more than 4800 moto-h, which is higher than the serial nozzle of 1,7 times.

Ключевые слова: дизельные двигатели, системы подачи топлива, конструкции форсунок, распылители, надежность форсунки, качество смесеобразования.

Key words: diesel engine, fuel supply system, the structure of nozzle, atomizer, reliability of nozzle, the quality of carburation.

Цитирование. Ряднов А. И., Федоров А. В. Повышение надежности форсунки дизельного двигателя. *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). 339-346. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-39.

Citation. Ryadnov A. I., Fedorov A. V. Improving the reliability of nozzle of the diesel engine. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 4(56). 339-346 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-39.

Введение. До настоящего времени дизельные двигатели являются основным энергетическим средством машинно-тракторных агрегатов, используемых в АПК России. Высокоэффективное использование машинно-тракторных агрегатов во многом

определяется уровнем надежности дизельных двигателей. При конструировании и внедрении в производство новых марок дизельных двигателей повышаются требования к их надежности.

Существенное влияние на уровень надежности, эксплуатационные и эмиссионные параметры дизельных двигателей оказывает состояние системы впрыска топлива [14]. Так, в работе [7] показано, что около 50 % отказов дизелей приходится на топливную аппаратуру, в том числе и на форсунки. При этом авторы данной работы установили основные отказы распылителей форсунок: потеря герметичности и гидроплотности; закоксовывание; нарушение подвижности иглы; ухудшение качества распыливания топлива; сколы, задиры, срывы поверхности, трещины в корпусах, смятие и забоины носика.

На серийных дизельных двигателях установлены закрытые форсунки с многодырчатými распылителями, имеющими различное конструктивное исполнение [8]. В таких форсунках износ пружин и уровень закоксованности иглы даже одного и того же дизеля разные, что приводит к разной подаче топлива в камеру сгорания и вибрациям, разность амплитуд которых в диапазоне частот 440–480 Гц составляет около 25 Дб. С увеличением подачи топлива растет уровень вибраций и шума, увеличивается закоксованность иглы, снижается срок службы форсунки [1]. В то же время подача топлива во многом определяется диаметром сопла. Установлено, что при диаметре сопла равном 0,36 мм при давлении впрыска 27,4 МПа достигаются оптимальные результаты как по экономии топлива, так и по допустимому шуму [13].

При работе дизеля в прецизионных сопряжениях форсунок возникают высокие как механические и гидродинамические нагрузки, так и тепловые. При этом снижаются смазывающие свойства топлива, ухудшается его фильтрация, что приводит к снижению ресурса форсунок [2].

Качество распыла топлива форсункой во многом определяется ее конструктивными особенностями. Например, от геометрии и асимметричного движения иглы три отверстия создают закрученные потоки возрастающей интенсивности по мере уменьшения подъемной силы. Однако эти особенности не относятся к осевым форсункам с одним отверстием [11].

Прецизионные детали форсунок при их работе нагреваются до 523 °К и остывают зимой до 227 °К. Давление, развиваемое насосом высокого давления в момент впрыска топлива, достигает 50–80 МПа [7]. При этом периодически возникают ударные нагрузки, происходит абразивный износ сопрягаемых деталей. В результате чего изменяются зазоры, нарушаются регулировочные параметры. Все это приводит к отказу форсунок, а следовательно, топливной аппаратуры и двигателя.

Одним из основных направлений повышения надежности форсунок дизельных двигателей является использование новых конструкций форсунок [7]. Предложено достаточно много конструктивных решений, например, форсунка с вращающимся соплом, изготовленная в соответствии с а.с. СССР № 1511449, МКИ-02М, 61/16.

Авторы работы [3], анализируя опыт конструирования систем подачи топлива отечественных и зарубежных двигателей, пришли к выводу, что в перспективных конструкциях форсунок следует отказаться от мультипликатора запирающей иглы, в распылителях применять плавающую втулку, снизить подыгольный объем и довести до минимума площадь трения сопрягаемых деталей.

В работе [4] предложена конструкция распылителя форсунки дизеля, которая включает прецизионные сопряжения: уплотняющие цилиндрическое и коническое и дополнительное направляющее. Такая конструкция обеспечивает снижение усилия, формирующего радиальное отклонение оси иглы от оси корпуса распылителя.

Авторы работы [6], рассматривая различные конструкции распылителей форсунок, показали преимущества распылителей с тангенциальным расположением распыляющих отверстий.

Сравнение форсунок осуществляется по ряду показателей, основными из которых являются производительность и надежность. Так, производительность форсунок оценивается по скорости впрыска и импульсу, гидравлическим коэффициентам, а также с точки зрения проникновения брызг и угла распыла [10].

Надежность форсунок во многом определяется износом сопрягаемых поверхностей, вызываемым механическими примесями в топливе. Механические примеси проникают, например, в серийных форсунках двигателей в зазор между иглой и корпусом форсунки (рисунок 1). Происходит их износ, снижается гидроплотность Γ_n распылителя, что ведет к ухудшению процесса смесеобразования и сгорания топлива, а также к снижению мощности и экономичности дизеля [5, 12].

Гидроплотность изменяется от наработки t форсунки (двигателя):

$$\Gamma_n = \Gamma_{n(u)} + A t, \quad (1)$$

где $\Gamma_{n(u)}$ – исходное значение гидроплотности, с; A – интенсивность изменения гидроплотности, с/мото-час; t – наработка двигателя, мото-час.

Гидроплотность в зависимости от наработки определялась экспериментально.

На основе анализа научных исследований определена цель работы – сравнить гидроплотность распылителей серийной форсунки и форсунки новой конструкции в зависимости от наработки двигателя.

Материалы и методы. Для достижения цели настоящей работы сначала было определено изменение гидроплотности распылителей серийной форсунки ФД-22 дизельного двигателя Д-245 в зависимости от наработки двигателя.

Анализ научных работ и изобретений ученых и конструкторов позволил разработать новую конструкцию форсунки [9]. На рисунке 1 представлена схема предлагаемой форсунки дизельного двигателя. Для форсунки новой конструкции было также определено изменение гидроплотности распылителей в зависимости от наработки двигателя Д-245.

Работает форсунка новой конструкции следующим образом: топливо под высоким давлением подается по каналу 2 в кольцевой канал 10, а также в продольные 16 и 17, касательные 7 и 14 и радиальный 15 каналы. Из каналов 7 и 14 оно поступает в углубления 20 и 21, которые выполнены на нижней опорной втулке 19 косо-симметрично. Такое расположение каналов позволяет создать от давления топлива на стенки углублений момент пары сил. При увеличении давления топлива, создаваемого насосом высокого давления дизеля, момент пары сил увеличивается. Запорный клапан 5 начинает поворачиваться на опорных втулках 18 и 19 вокруг своей оси по направлению подачи топлива в касательные каналы 7 и 14. При этом поворачиваются штанга 23 и рычаг 24, который воздействует упором 25 на шток 26 пружинного механизма 27. Пружина 29, размещенная в корпусе 28 пружинного механизма 27, сжимается. При достижении требуемого для данного дизеля давления впрыска пружина 29 сжимается на определенную величину, при этом рычаг 24 поворачивается до упора в ограничитель поворота 33. В этот момент ось радиального канала 15 совпадает с осью канала 22 и топливо подается с высоким давлением в камеру закручивания 4. В камере закручивания 4 топливо совершает интенсивное вращательное движение с большой угловой скоростью. Затем происходит впрыск топлива в камеру сгорания дизеля.

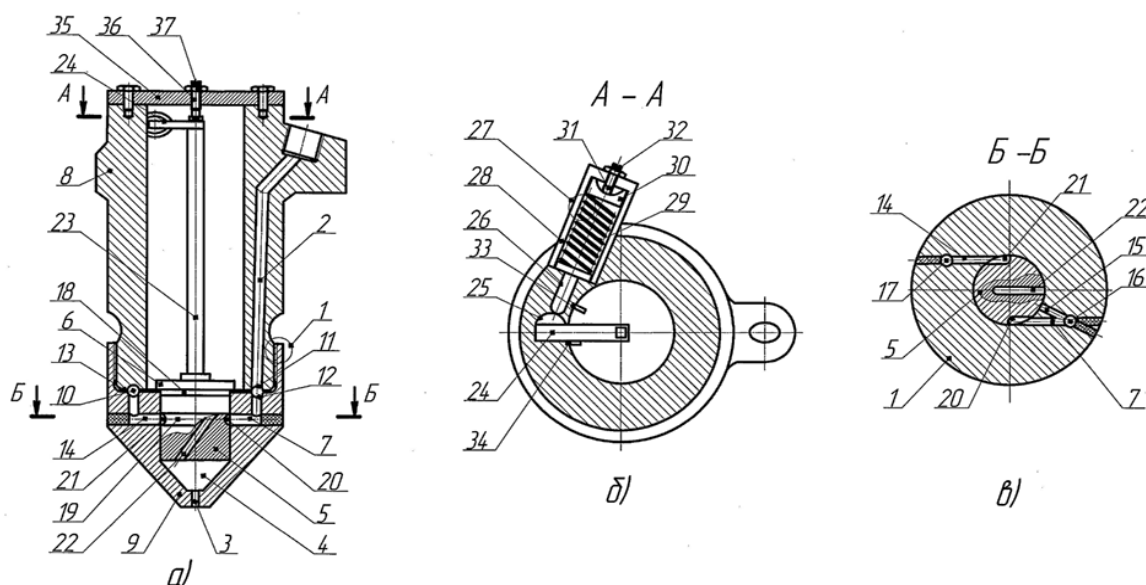


Рисунок 1 – Схема форсунки новой конструкции:

- 1 – корпус; 2 – канал; 3 – отверстие распыливающее; 4 – камера закручивания;
5 – запорный клапан; 6 – ограничитель; 7 – канал; 8 – верхняя часть корпуса; 9 – нижняя часть корпуса; 10 – канал кольцевой; 11 и 12 – проточки; 13 – прокладка; 14 и 15 – каналы;
16 и 17 – каналы продольные; 18 – опорная втулка верхняя; 19 – опорная втулка нижняя;
20 и 21 – углубления; 22 – канал; 23 – штанга; 24 – рычаг; 25 – упор; 26 – шток; 27 – механизм пружинный; 28 – корпус механизма пружинного; 29 – пружина сжатия; 30 – упор;
31 – винт регулировочный; 32 – контргайка; 33 и 34 – ограничители поворота; 35 – крышка;
36 – винт ограничительный; 37 – контргайка

Figure 1 – Diagram of the nozzle of the new design:

- 1 – housing; 2 – channel; 3 – hole spraying; 4 – twist chamber; 5 – shut-off valve; 6 – limiter;
7 – channel; 8 – upper part of the body; 9 – lower part housing; 10 – channel ring; 11 and 12 – groove;
13 – gasket; 14 and 15 – channels; 16 and 17 – longitudinal channels; 18 – upper support sleeve;
19 – lower support sleeve; 20 and 21 – recesses; 22 – channel; 23 – rod; 24 – lever; 25 – stop;
26 – rod; 27 – mechanism spring; 28 – spring mechanism housing; 29 – compression spring;
30 – stop; 31 – adjusting screw; 32 – locknut; 33 and 34 – turn limiters; 35 – cover;
36 – the restrictive screw; 37 – locknut

В момент впрыска топлива в камеру сгорания дизеля касательные каналы 7 и 14 перекрыты цилиндрической поверхностью нижней 19 опорной втулки. Момент пары сил, возникающих от давления топлива на стенки углублений 20 и 21, приближается к нулю.

При прекращении подачи топлива насосом высокого давления и снижении давления топлива во всех подающих каналах запорный клапан 5 усилием пружины 29 поворачивается. Поворот запорного клапана 5 осуществляется до упора рычага 24 в ограничитель поворота 34. Радиальный канал 15 перекрывается цилиндрической поверхностью нижней 19 опорной втулки. Истечение топлива в цилиндр дизеля прекращается.

Отсутствие осевого перемещения запорного клапана, исключение ударных нагрузок при соприкосновении его с нижней частью корпуса и минимизация относительного перемещения сопрягаемых поверхностей запорного клапана и корпуса за счет малого угла поворота запорного клапана, изготовление опорных втулок из износостойкого материала с низким коэффициентом трения, а также выполнение наружных поверхностей опорных втулок и соприкасающейся внутренней поверхности нижней части корпуса прецизионными позволяют значительно снизить износ сопрягаемых деталей

распылителя по сравнению с распылителями, у которых запорный клапан (или игла) совершают возвратно-поступательное движение или одновременно возвратно-поступательное и вращательное движения.

До начала экспериментальных исследований на двигатель Д-245 были установлены две серийные и две форсунки новой конструкции. До начала экспериментальных исследований все форсунки были отрегулированы на давление начала впрыска 22,0-22,8 МПа.

Исследования проводились до достижения предельного значения гидроплотности распылителей, которая в соответствии с ГОСТ 10579-2017 (Форсунки дизелей. Технические требования и методы испытаний. Введен в действие 01.04.2019 г. М.: Стандартинформ, 2018, 8 с.) должна быть более 5 с при снижении давления от 19,6 до 17,6 МПа.

Гидроплотность распылителей определяли в соответствии с ГОСТ 10579-2017 с использованием стенда КИ-3333 (рисунок 2) через каждые 500 мото-часов работы двигателя.



Рисунок 2 – Стенд КИ-3333 / Figure 2 – Stand KI-3333

В качестве технологической жидкости использовали профильтрованную смесь дизельного топлива с веретенным маслом с вязкостью 10,1 – 10,6 мм²/с. Рабочая температура смеси составляла 20-22 °С.

Результаты и обсуждение. По данным экспериментальных исследований построены графики зависимости изменения гидроплотности распылителей серийной форсунки и форсунки новой конструкции (рисунок 3).

На графиках (рисунок 3) показаны усредненные данные Γ_n . Установлено, что интенсивность снижения гидроплотности распределителей серийных форсунок выше, чем новой конструкции. Предложенное техническое решение обеспечивает необходимую гидроплотность распылителя форсунки при наработке более 4800 мото-ч, что выше, чем у серийной форсунки, в 1,7 раза.

На основе графиков определены теоретические зависимости изменения гидроплотности распределителей форсунок обеих конструкций:

$$\text{серийной} \quad \Gamma_n = 21,19 - 1,82 \cdot 10^{-3} t - 1,4 \cdot 10^{-6} t^2, \quad (2)$$

$$\text{новой} \quad \Gamma_n = 28,78 - 1,5 \cdot 10^{-3} t - 7 \cdot 10^{-7} t^2. \quad (3)$$

Во всех случаях величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных теоретической зависимостью – $R^2 > 0,99$.

Кроме того, экспериментальные исследования показали высокое качество распыла топлива форсункой новой конструкции.

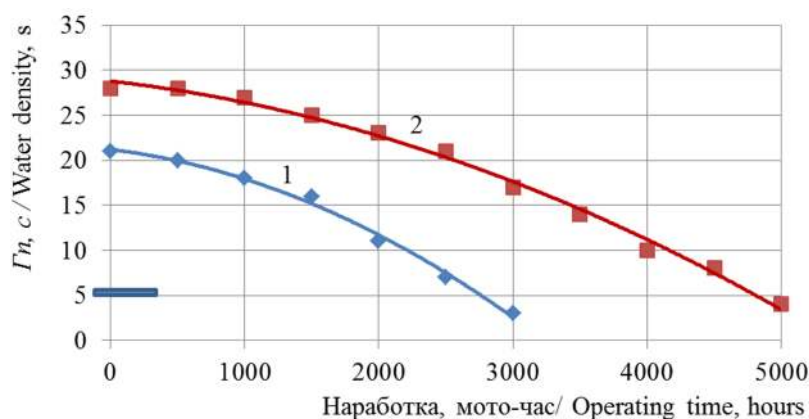


Рисунок 3 – Изменение гидроплотности распылителей серийной и экспериментальной форсунок в зависимости от наработки:

1 – серийная форсунка; 2 – экспериментальная форсунка;

— допустимый уровень Γ_n

Figure 3 – change in the hydraulic density of serial sprayers and experimental injectors depending on operating time:

1 – serial nozzle; 2 – experimental nozzle;

— permissible level of G_p

Закключение. Таким образом, применение на дизельных двигателях форсунок предлагаемой конструкции позволит повысить их надежность и срок эксплуатации по сравнению с серийными.

Библиографический список

1. Грунтович Н. В., Кирдищев Д. В., Попов В. Б. Разработка диагностической модели дизельных форсунок по результатам вибродиагностирования // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. 2017. №2(69). С. 18 – 24.
2. Керученко Л. С., Даманский Р. В. Влияние неисправностей распылителей дизельных форсунок на процесс впрыска топлива // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 1 (55). Часть 4. С. 78-81.
3. Концепция и разработка перспективных конструкций форсунок аккумуляторного типа для среднеоборотных двигателей / Л. В. Грехов, А. А. Денисов, Е. Е. Старков, А. С. Кулешов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 10 (691). С. 43-51.
4. Лазарев В. Е., Ломакин Г. В., Лазарев Е. А. Совершенствование конструкции распылителя топливной форсунки дизеля для реализации повышенных давлений впрыскивания топлива // Ползуновский вестник. 2017. №4. С. 70-75.
5. Лебедев А. Т., Болотоков А. Л., Лебедев П. А. Повышение долговечности распылителей форсунок автотракторных дизелей // Вестник АПК Ставрополя. 2018. №2. С. 34-37.
6. Марков В. А., Девянин С. Н., Лобода С. С. Выбор геометрических характеристик распылителей дизельных форсунок // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. С. 19-22.
7. Матвеев В. Ю., Шагвин А. В. Факторы, определяющие работоспособность форсунок // Вестник НГИЭИ. 2015. № 2 (45). С. 57-64.
8. Панин А. В. Экономический рост в сельском хозяйстве на основе модернизации производства: монография. М.: Проспект, 2016. 240 с.
9. Форсунка для дизеля: патент на изобретение № 2635428 Российская Федерация. МПК F02M47/00, F02M61/16, F02M61/20, F02M63/00. / Ряднов А. И., Федоров А. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ - №2017103270; заявл. 31.01.2017; опубл. 13.11.17, Бюл. №32.
10. Analysis of counterbore effect in five diesel common rail injectors / R. Payri, G. Hardy, J. Gimeno, A. Bautista // Experimental Thermal and Fluid Science. 2019. Vol. 107. P. 69-78.
11. Battistoni M., Som S., Powell C. F. Highly resolved Eulerian simulations of fuel spray transients in single and multi-hole injectors: Nozzle flow and near-exit dynamics // Fuel. 2019. P. 709-729.

12. Improving The Economy Of Diesel Engines With The Upgraded Sprayer Of The Injector/ A. T. Lebedev, P. A. Lebedev, A. K. Apazhev, A. M. Egozhev, A. L. Bolotokov // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. RJPBCS 9(6). P. 737-742.

13. Parametric study of a diesel engine fueled with directly injected methanol and pilot diesel / Z. Li, Y. Wang, H. Geng, S. Xu, C. Li // Fuel. 2019. Volume 256, P. 115882.

14. Pilková M., Jamrichová Z., Kopecký I. Assessment of diesel fuel injection systems // Transport Means. Proceedings of the International Conference. 2014, January. P. 95-98.

Reference

1. Gruntovich N. V., Kirdischev D. V., Popov V. B. Razrabotka diagnosticheskoy modeli dizel'nyh forsunok po rezul'tatam vibrodiagnostirovaniya // Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Suhogo. 2017. №2(69). P. 18 - 24.

2. Keruchenko L. S., Damanskij R. V. Vliyanie neispravnostej raspylitelej dizel'nyh forsunok na process vpryska topliva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. № 1 (55). Chast' 4. P. 78-81.

3. Koncepciya i razrabotka perspektivnyh konstrukcij forsunok akkumulyatornogo tipa dlya sredneoborotnyh dvigatelej / L. V. Grehov, A. A. Denisov, E. E. Starkov, A. S. Kuleshov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie. 2017. № 10 (691). P. 43-51.

4. Lazarev V. E., Lomakin G. V., Lazarev E. A. Sovershenstvovanie konstrukcii raspylatelya toplivnoj forsunki dizelya dlya realizacii povyshennyh davlenij vpryskivaniya topliva // Polzunovskij vestnik. 2017. №4. P. 70-75.

5. Lebedev A. T., Bolotokov A. L., Lebedev P. A. Povyshenie dolgovechnosti raspylitelej forsunok avtotraktornyh dizelej // Vestnik APK Stavropol'ya. 2018. №2. P. 34-37.

6. Markov V. A., Devyanin S. N., Loboda S. S. Vybore geometricheskikh harakteristik raspylitelej dizel'nyh forsunok // Traktory i sel'hozmashiny. 2015. № 3. P. 19-22.

7. Matveev V. Yu., Schagvin A. V. Faktory, opredelyayushchie rabotosposobnost' forsunok // Vestnik NGU. 2015. № 2 (45). P. 57-64.

8. Panin A. V. Jekonomicheskij rost v sel'skom hozyajstve na osnove modernizacii proizvodstva: monografiya. M.: Prospekt, 2016. 240 p.

9. Forsunka dlya dizelya: patent na izobretenie № 2635428 Rossijskaya Federaciya. MPK F02M47/00, F02M61/16, F02M61/20, F02M63/00. / Ryadnov A. I., Fedorov A. V.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Volgogradskij GAU - №2017103270; zayavl. 31.01.2017; opubl.13.11.17, Byul. №32.

10. Analysis of counterbore effect in five diesel common rail injectors / R. Payri, G. Hardy, J. Gimeno, A. Bautista // Experimental Thermal and Fluid Science. 2019. Vol. 107. P. 69-78.

11. Battistoni M., Som S., Powell C. F. Highly resolved Eulerian simulations of fuel spray transients in single and multi-hole injectors: Nozzle flow and near-exit dynamics // Fuel. 2019. P. 709-729.

12. Improving The Economy Of Diesel Engines With The Upgraded Sprayer Of The Injector/ A. T. Lebedev, P. A. Lebedev, A. K. Apazhev, A. M. Egozhev, A. L. Bolotokov // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. RJPBCS 9(6). P. 737-742.

13. Parametric study of a diesel engine fueled with directly injected methanol and pilot diesel / Z. Li, Y. Wang, H. Geng, S. Xu, C. Li // Fuel. 2019. Volume 256, P. 115882.

14. Pilková M., Jamrichová Z., Kopecký I. Assessment of diesel fuel injection systems // Transport Means. Proceedings of the International Conference. 2014, January. P. 95-98.

Информация об авторах

Ряднов Алексей Иванович, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>. E-mail: alex.rjadnov@mail.ru;

Федоров Алексей Валерьевич – студент 4 курса ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (400005, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>. E-mail: alex_fedorow_97@mail.ru.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. АГРОНОМИЯ /
AGRICULTURAL SCIENCES. AGRONOMY

Иванов В. В., Овчинников А. С., Куприянова С. В. Методология устойчивого развития агропромышленного комплекса. Ivanov V. V., Ovchinnikov A. S., Kupriyanova S. V. The methodology of sustainable development of agricultural complex	15
Васильев С. А., Чучкалов С. И., Александров Р. И., Алексеев Е. П. Исследование изменения природно-климатических условий и физических свойств почвы на агроланд-шафтной катене склоновых земель Vasiliev S. A., Chuchkalov S. I., Alexandrov R. I., Alekseev E. P. The study of changes in natural and climatic conditions and physical properties of soil on the agrolandscape Catena of slope lands	26
Григорьев В. С. Миграция радиоактивных элементов в медоносных растениях, культивируемых в Северных и Западных районах Самарской области Grigoriev V. S. Migration of radioactive elements of honey plants cultivated in the Northern and Western region of the Samara region	35
Кулик К. Н., Бородычев В. В., Васильев Ю. И., Крючков С. Н. К вопросу об использовании понятия «энтропия» в агролесомелиорации Kulik K. N., Borodychev V. V., Vasiliev Yu. I., Kryuchkov S. N. To the question of using of the term «entropy» in the agroforestry.....	42
Мелихов В. В., Родин К. А., Тихонова М. К., Болотин Д. А. Качество поверхностных вод и их влияние на экологическую устойчивость орошаемых агроландшафтов Melikhov V. V., Rodin K. A., Tikhonova M. K., Bolotin D. A. Quality of surface waters and their influence on the ecological stability of irrigated agro landscapes	48
Солонкин А. В., Семенютина А. В., Никольская О. А., Киктева Е. Н. Оценка засухоустойчивости и жаростойкости сортов и форм косточковых культур в условиях Волгоградской области Solonkin A.V., Semenuytina A.V., Nikolskay O.A., Kikteva E.N. The assessment of drought resistance and heat resistance of varieties and forms of stone fruits in the conditions of the Volgograd region	55
Тютюма Н. В., Булахтина Г. К., Кудряшов А. В., Кудряшова Н. И. Влияние минерального питания и способов посева на урожайность бобово-мятликовых травосмесей в условиях севера Астраханской области Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Kudryashov A. V., Kudryashova N. I. The influence of mineral nutrition and planting methods on crop yields of «Leguminosae-Poaceae» grass mix-tures in the conditions of the north of the Astrakhan region	65
Кулик К. Н., Беляков А. М., Назарова М. В. О методологии формирования агро-технологической политики на современном этапе Kulik K. N., Belyakov A. M., Nazarova M. V. On the methodology for the forming agro-technological policy at the current stage.....	72

Желтова А. А., Зайцев В. Г., Иващенко Р. Ю., Агапова Д. А. Специфическое определение активности альфа-амилазы и растворимых белков в зерне ячменя и пшеницы Zhelтова А. А., Zaitsev V. G., Ivashchenko R. Yu., Agapova D. A. Specific definitions of alpha-amilase and soluble proteins activity in barley and wheat grain.....	79
Корнеева Е. А. Индексы эффективности противоэрозионной лесомелиорации в лесостепи Korneyeva Ye. A. Indices of efficiency of anti-erosion forest melioration in forest-steppe	84
Мелихова Н. П., Зибаров А.А., Тегесов Д. С., Севостьянова Г. М. Севооборот – важное средство сохранения плодородия и повышения продуктивности орошаемых агроландшафтов Melikhova N. P., Zibarov A. A., Tegesov D. S., Sevostyanova G. M. Crop Rotation is an important means of preserving fertility and increasing productivity of irrigated agricultural landscapes.....	92
Кулик А. В., Гордиенко О. А., Пугачева А. М., Воронина В. П., Узолин А. И. Научное обоснование создания памятника природы на овражно-балочных землях правого берега Дона с целью сохранения уникальных лесокультурных комплексов Kulik A. V., Gordienko O. A., Pugacheva A. M., Voronina V. P., Uzolin A. I. Scientific basis for creation of a natural monument on the ravine-beam lands of the right bank of the don in order to preserve the unique silvicultural complexes.....	100
Романов Б. В., Пимонов К. И. Теоретические аспекты закономерности макроэволюционных преобразований ди- и тетраплоидных видов пшеницы Romanov B. V., Pimonov K. I. Theoretical aspects of regularities of macroevolutionary transformations of di - and tetraploid kinds of wheat.....	110
Щукин С. В., Горнич Е. А., Труфанов А. М., Воронин А. Н. Оценка действия энергосберегающих технологий основной обработки почвы на содержание органического вещества и агрофизические показатели плодородия Shchukin S.V., Gornich E.A., Trufanov A.M., Voronin A. N. Assessment of the effect of energysaving primary tillage technologies on organic matter content and agrophysical properties of the soil	119
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ / AGRICULTURAL SCIENCES. VETERINARY AND ZOOTECHNICS	
Карликова Г. Г., Конте А. Ф. Интенсивность роста и развития молодняка голштинского скота в связи с уровнем молочной продуктивности матерей Karlikova G.G., Conte A.F. The intensity of growth and development of young Holstein cattle in connection with the level of mother's milk productivity	127
Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Дегтярь А. С., Дегтярь С. В. Повышение мясной продуктивности ягнят путём скрещивания меринсовых овцематок и гладкошерстных баранов Kolosov Yu.A., Chamurliiev N.G., Degtyar A.S., Degtyar S.V. Increasing the meat productivity of lambs by crossing merino ewes and smooth-kosher sheep	135

- Коханов А. П., Фролова Н. М., Коханов М. А.** Формирование семейств коров в стаде крупного рогатого скота голштинской породы
Kokhanov A. P., Frolova N. M., Kokhanov M. A. Formation of cow families in the herd of cattle of a holstein breed..... 140
- Николаев С. И., Ранделин Д. А., Эльебяр Мохсен А. М. Я., Кониева О. Н., Суторма Р. С.** Эффективность использования белкового концентрата из белого люпина в комплексе с мясокостной мукой в комбикормах при выращивании молоди сибирского осетра
Nikolaev S. I., Randelin D. A., Elebyari Mokhsen A. M., Konieva O. N., Sutor-ma R. S. The effectiveness of the use of protein concentrate from white lupine in combination with meat and bone meal in animal feed for the cultivation of juvenile Siberian sturgeon..... 146
- Храмова В. Н., Тимофеева А. Д., Храмова Я. И., Филатов А. С.** Полуфабрикаты рубленые в оболочке с мякотью тыквы и мукой из плодов шиповника
Khramova V. N., Timofeeva A. D., Khramova Ya. I., Filatov A. S. Semi-finished products chopped in the shell with the pumpkin pump and the flour from rose hips 153
- Кочарян В. Д., Баканова К. А., Перерядкина С. П., Файзулина Н. С.** Эффективность применения адресной доставки лекарственных средств для профилактики воспалительных заболеваний репродуктивных органов у коров в переперальный период
Kocharyan V. D., Bakanova K. A., Pereryadkina S. P., Faizulina N. S. Efficiency of using addressed delivery of medicines for prevention of inflammatory diseases of cows' reproductive organs in the perperal period 162
- Степурина М. А., Струк В. Н., Варакин А. Т., Хакимов И. Н., Воронцова Е. С.** Кормовые добавки для повышения питательной ценности рационов и продуктивности лактирующих коров
Stepurina M. A., Struk V. N., Varakin A. T., Khakimov I. N., Vorontsova E. S. Feed additives to improve the nutritional value of diets and the productivity of lactating cows 170
- Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Дегтярь А. С., Дегтярь С. В.** Воспроизводительные качества мериносовых овцематок и рост ягнят в подсосный период при скрещивании с баранами породы дорпер
Kolosov Yu. A., Chamurliiev N. G., Degtyar A. S., Degtyar S. V. Reproductive qualities of merino ewes and the growth of lambs in the suckling period during crossing with sheep of the Dorper breed 179
- Храмова В. Н., Филатов А. С. Амаханова З. Ш., Храмова Я. И.** Производство рубленых полуфабрикатов с применением тыквенного пюре и оригинальными специями
Khramova V. N., Filatov A. S., Amakhanova Z. Sh. Khramova Ya. I. Production of chopped semi-manufactured products with the use of pumpkin puree and original spice.. 185

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ/
TECHNICAL SCIENCES. AGRO-ENGINEERING

Бородычев В. В., Лытов М. Н. Модель теплообмена в системе «агрофитоценоз-окружающая среда» с регуляторами Borodychev V. V., Lytov M. N. Heat transfer model in the system «agrophytocenosis - environment» with regulators	192
Ахмедов А. Д. Гидравлические параметры трубчатых увлажнителей различных конструкций Akhmedov A. D. Hydraulic parameters of tubular humidifiers of different designs.....	204
Бышов Н. В., Лимаренко Н. В., Фомин С. Д., Чаткин М. Н., Успенский И.А., Юхин И.А. Исследование распределения плотности вероятностей патогенных маркеров свиного бесподстильного навоза Byshov N. V., Limarenko N. V., Fomin S. D., Chatkin M. N., Uspensky I. A., Yukhin I. A. Study of the distribution of the probability density of pathogenic markers of liquid pig manure	215
Клочков Ю. В., Николаев А. П., Фомин С. Д., Вахнина О. В., Клочков М. Ю. Применение объемных конечных элементов в прочностных расчетах инженерных объектов агропромышленного комплекса Klochkov Yu. V., Nikolaev A. P., Fomin S. D., Vakhnina O. V., Klochkov M. Yu. Application of volume final elements in strength calculations of engineering objects of agricultural complex.....	227
Кочеткова О. В., Матвеев, А. С., Арьков, Д. П., Ширяева, Е. В. Модели использования информационных систем при производстве зерновых в базовых фермерских хозяйствах аграрного вуза с целью внедрения цифровых технологий в базовых хозяйствах аграрного вуза Kochetkova O. V., Matveev A. S., Arkov D. P., Shiryayeva E. V. Functional models of grain production in basic farms of agricultural university	237
Рогачев А. Ф. Мелихова Е. В., Руденко А. Ю. Оценка и прогнозирование сельскохозяйственного производства и продовольственной безопасности на основе нечетких когнитивных математических моделей Rogachev A. F. Melikhova E. V., Rudenko A. Ya. Assessment and forecasting of agricultural production and food security based on fuzzy cognitive mathematical models...	246
Ряднов А. И., Федорова О. А., Федоров А. В. Совершенствование конструкции поршневого расходомера топлива Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Fedorov A. V. Improving the design of the piston fuel flow-meters.....	255
Салугин А. Н. О логистической аппроксимации динамики роста дерева Salugin A. N. About logistic approximation of dynamics of tree growth	262
Семененко С. Я., Лытов М. Н., Чушкин А. Н., Чушкина Е. И. Эффективность использования электролизованной воды как фактора сдерживания болезней орошаемого томата в пленочных теплицах Semenenko S. Ya., Lytov M. N., Chushkin A. N., Chushkina E. I. The efficient use of electrolyzed water as a deterrent of diseases of irrigated tomato in plastic-covered greenhouses	271

Цепляев А. Н., Габидулина А. Е., Харлашин А. В. Экспериментальное определение параметров пневмомеханического сепаратора на основе многофакторного эксперимента Tseplyaev A.N., Gabidulina A.E., Kharlashin A.V. Experimental determination of the parameters of the pneumatic-mechanical separator based on a multi-factor experiment	282
Юдаев И. В., Токарева А. Н., Грачева Н. Н., Панченко С. В., Даяс Ю. В. Обоснование геометрических параметров системы отопления «теплый пол» в детских дошкольных учреждениях сельских территорий Yudaev I. V., Tokareva A. N., Gracheva N. N., Panchenko S. V., Daus Yu. V. The justification of geometric parameters of heating system «warm floor» in pre-school facilities of rural areas	290
Смирнов С. В., Копылов В. В., Макаров А. Р., Воробьев А. А., Шкарин К. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Ушанев А. И., Филюшин О. В. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния юбки поршня двигателя внутреннего сгорания Smirnov S. V., Kopylov V. V., Makarov A. R., Vorobyev A. A., Shkarin K. V., Uspenskii I. A., Iukhin I. A., Ushanev A. I., Filiushin O. V. Experimental study of the stress-strain state of the piston skirt of the internal combustion engine.....	301
Романовский Н. В., Захаров А. М. Способ повышения эффективности междурядной обработки овощных культур Romanovsky N. V., Zakharov A. M. Method for increasing effectiveness of interspace cultivation of vegetable crops	311
Кочеткова О. В., Хорошавин В. С. Исследование бизнес-процессов молочного животноводства с целью их последующей автоматизации Kochetkova O. V., Khoroshavin V. S. Research of business processes of dairy animal breeding with purpose of their following automation	319
Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В., Белоусов И. С. Исследование развития и продуктивности сельскохозяйственных культур с применением беспилотных летательных аппаратов Rogachev A. F., Melikhova E. V., Belousov I.S. Research of development and productivity of agricultural crops using unmanned aerial vehicles.....	329
Ряднов А. И., Федоров А. В. Повышение надежности форсунки дизельного двигателя Ryadnov A. I., Fedorov A. V. Improving the reliability of nozzle of the diesel engine.	339
СОДЕРЖАНИЕ/ABSTRACTS	347

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Редакция журнала в своей деятельности руководствуется принципами научности, объективности и беспристрастности.

Содержание статьи должно соответствовать одной из следующих отраслей науки и групп специальностей:

Технические науки

- 05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

Сельскохозяйственные науки

- 06.01.00 Агрономия
- 06.02.00 Ветеринария и Зоотехния

1. Технический анализ рукописи осуществляется ответственным секретарем журнала, согласно требованиям для авторов, в трехдневный срок после представления рукописи (в электронной и печатной формах) и передается на проверку оригинальности авторского текста в Центр наукометрического анализа международных систем индексирования (НАМСИ).

2. Проверка **оригинальности** авторского текста, ссылки на использованные источники, степени заимствования осуществляется в трехдневный срок **по всем коллекциям** в системе Antiplagiat.ru. Допустимый объем цитирований (корректного заимствования) – не более 30 % от общего объема статьи (некорректные заимствования не допускаются).

3. Передача на рецензирование осуществляется зам. главного редактора после технического анализа и проверки оригинальности авторского текста, в течение трех дней с момента получения полного пакета документов статьи. Осуществляется рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих тематике издания, с целью их экспертной оценки. Рецензирование статьи производится **независимыми экспертами** журнала в течение 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.

4. В журнале используются следующие модели рецензирования:

а) одностороннее слепое рецензирование (singl-blind reviewing): рецензент знает имя автора, но автор не знает имени рецензента;

б) двухстороннее слепое рецензирование (double-blind reviewing): рецензент и автор не знают имён друг друга.

При этом в каждом конкретном случае (с учетом возможности возникновения конфликтных ситуаций) модель рецензирования и количество рецензентов могут варьироваться.

5. Повторное рецензирование осуществляется после предоставления 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 представленных данных и научной значимостью рассматриваемой работы.

7. В случае принятия решения о публикации в течение трех дней рукопись статьи передается профессиональному переводчику для перевода на английский язык, который осуществляется в течение двух дней.

8. Редакция издания направляет авторам предоставленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса. Рукописи возврату не подлежат.

Оформление статьи должно соответствовать Межгосударственным и национальным стандартам Российской Федерации по издательскому делу.

Статья представляется в редакционно-издательский центр в печатном виде (на листах формата А4) с приложением электронной версии (в формате Word Windows), полностью совпадающим с бумажным вариантом. Статья должна иметь УДК (можно определить на сайте <http://teacode.com/online/udc/>). Количество авторов – не более четырех.

Статья набирается в редакторе Microsoft WORD со следующими установками: поля страницы сверху, снизу – 2,4 см; слева, справа – 2,8 см. Стилль обычный. Шрифт – Times New Roman, размер шрифта 14. Межстрочный интервал для текста – полуторный, для таблиц – одинарный, режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Количество строк на одной странице – 29±3, знаков в строке – 65±3. Абзацный отступ должен быть одинаковым по тексту – 1,27 см.

Рисунки, схемы, фотографии представляются в формате PDF, JPEG, TIFF разрешением не ниже 300 dpi (сканировать таблицы, схемы, рисунки не допускается).

В статье помещаются: УДК, название статьи, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание автора (ов), аннотация (строго 200-250 слов); ключевые слова.

В статье следует четко выделять следующие составные части:

1. Введение.
2. Материалы и методы.
3. Результаты.
4. Обсуждение.
5. Заключение.
6. Библиографический список.

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, направление исследования, контактные телефоны, почтовый и электронный адреса.

Рекомендованный объем статьи (вместе с переводом аннотации и библиографического списка) **10-12 стр.**

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.

Список литературы составляется в алфавитном пронумерованном порядке, он должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.1 – 2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Требования и правила», ГОСТ Р 7.0.5. – 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» с указанием обязательных сведений библиографического описания.

RULES OF SUBMITTING, REVIEWING AND PUBLICATION OF SCIENTIFIC ARTICLES

The journal editorial board relies on the principles of scientificity, objectivity and impartiality.

The article content should correspond to one of the following branches of science and groups of specialties:

Engineering sciences

- 05.20.00 Processes and machines of agroengineering systems

Agricultural sciences

- 06.01.00 Agronomy
- 06.02.00 Veterinary and Zootechnics

1. The technical analysis of the manuscript is performed by the journal's responsible secretary, according to the requirements for the authors within three days after the submitting of the manuscript (in electronic and printed form) and the text is directed to the Center for Scientific Metric Analysis of International Indexing Systems for authenticity verification.

2. The author's text **authenticity** verification references to the sources used, the degree of borrowing is carried out within three days for all collections in the Antiplagiat.ru system. The allowed volume of citations (correct borrowing) is no more than 30% of the total volume of the article (incorrect borrowing is not allowed).

3. The direction for the review is carried out by the deputy editor-in-chief after the technical analysis and the authenticity verification within three days after the receiving of the article full package of documents. The journal reviews all materials coming to the editorial board that are relevant to its subject matter, with the aim of their expert evaluation. The journal independent experts review the article within no more than 30 days after the manuscript submission. All reviewers are recognized experts in the subject matter of the reviewed materials and have publications on the subject of the article under review during the last 3 years. The reviews are kept in the publishing house and in the journal editorial office during 5 years. If there are substantial comments, the manuscript is returned to the authors with a written list of the remarks that require elimination.

4. The following review methods are used in the journal:

A) One-sided blind reviewing (single-blind reviewing): the reviewer knows the author's name, but the author does not know the name of the reviewer;

B) Double-blind reviewing: the reviewer and the author do not know each other's names.

At the same time, in each case (taking into account conflict situations), the review method and the number of reviewers can vary.

5. Re-review is carried out after the article submission with the comments eliminated, within no more than 30 days. If the manuscript is returned three times with the reviewer comments, the question of its acceptance or rejection is decided at the meeting of the editorial board.

6. The decision to publish is made in accordance with the Charter of the editorial board by the editor-in-chief on the basis of scientific reviews and the editorial board members opinions. When deciding on publication the editor-in-chief is guided by the reliability of the data presentation and the scientific significance of the paper.

7. If a decision to publish is made, within three days the article manuscript is sent to the professional translator for translation into English, which is carried out during two days.

8. The journal editors send to submitted materials copies authors the reviews or a reasoned rejection, and undertake to send copies of the reviews to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation upon receipt of the corresponding request to the editorial office. Manuscripts are not returned.

Requirements to the articles layout the article must comply with the Interstate and national standards of the Russian Federation for publishing.

The article is submitted to the editorial and publishing center in printed form (on A4 sheets) in 2 copies with an electronic version (in Word Windows format), completely identical to the paper version. The article should have UDC (it can be defined on the site <http://teacode.com/online/udc/>). The number of authors is not more than four.

The article is typed in the Microsoft WORD editor with the following settings: page margins at the top, at the bottom - 2.4 cm; on the left, on the right – 2.8 cm. The style is normal. Font is Times New Roman, font size - 14. Line spacing for text - 1.5, for tables - single, alignment mode - width, hyphenation - automatic. The number of lines on one page is 29 ± 3 , characters per font is 65 ± 3 . The indentation should be the same in the text - 1.27 cm.

Figures, diagrams, photographs are presented in PDF, JPEG, TIFF format with a resolution of at least 300 dpi (scanning of tables, diagrams, drawings is not allowed).

The article contains UDC, the article title, initials and surname of the author (authors), academic degree, title of author (s), abstract (strictly 200-250 words); 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 **unfair quoting** (unreasonable «winding up» of quotations, as well as self-citation), **incorrect citation** (unjustified content of the cited articles). *Citation should be maximum, but justified. Insufficient or excessive quoting reduces the rating of the journal.*

At the end of the article the date and the author (authors) signature are put; information about the author (authors) is given: place of work, faculty, department, (branch, scientific unit), academic title, research direction, contact phone numbers, postal and email addresses.

The recommended volume of the article (together with the translation of the annotation and the bibliographic list) is **10-12 pp.**

Bibliographic references to the list of literature should be designed in the text in square brackets according to the numerical order. In the case of a reference to an exact quote it is necessary to additionally indicate the numbers of the corresponding pages separated by commas, for example.

The list of literature is compiled in alphabetical order; it must be issued in accordance with All-Union state standard 7.1 – 2003 «Bibliographic Record. Bibliographic Description. Requirements and Rules», All-Union state standard R 7.0.5. - 2008 «Bibliographic reference. General requirements and rules of compilation» with indication of mandatory information of the bibliographic description.