

ISSN 2078–1318

**ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**№ 4 (73)**



**IZVESTIYA  
SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY**

**2023**

ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 (73)



IZVESTIYA  
SAINT-PETERSBURG STATE  
AGRARIAN UNIVERSITY

2023

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Рецензируемый научный журнал  
4 номера в год  
№ 4 (73)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ № ФС77-26051 от 18 октября 2006 г.

Журнал входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов кандидатских и докторских исследований

Журнал содержит материалы по основным разделам аграрной науки.  
В нем представлены результаты научных исследований и внедрения разработок в сельскохозяйственное производство  
Издаётся с 2004 г.

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

**IZVESTIYA SAINT-PETERSBURG STATE AGRARIAN UNIVERSITY**

Peer-reviewed scientific journal  
4 issues per year  
№ 4 (73)

Journal is registered  
in the Federal service on supervision for legislation compliance in the sphere  
of mass communications and cultural heritage protection  
The registration certificate of mass media  
PI № FS77-26051 on October 18, 2006

The journal is included into the list of leading reviewed scientific journals and publications recommended by the Higher Certification Commission of RF for the results publication of candidate and doctoral research papers

Journal contains materials on main sections of agricultural science.  
It presents research results and development implementation results into agricultural production

Published since 2004

Founder – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"

# ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Рецензируемый научный журнал  
4 номера в год  
№ 4 (73)

Главный редактор  
**Морозов Виталий Юрьевич**  
Доктор ветеринарных наук, профессор, ректор

Заместитель главного редактора  
**Колесников Роман Олегович**  
Кандидат ветеринарных наук, проректор  
по научной, инновационной и международной работе

Выпускающий редактор  
**Мельникова Дарья Андреевна**  
Кандидат исторических наук

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Атрощенко Геннадий Парфёнович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Афанасенко Ольга Сильвестровна**, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией иммунитета растений к болезням ФГБНУ ВИЗР;

**Беззубцева Марина Михайловна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой энергообеспечения предприятий и электротехнологий ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Болгов Анатолий Ефремович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства ФГБОУ ВО ПетрГУ;

**Брюханов Александр Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, член-корреспондент Российской академии наук, директор ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;

**Ганусевич Фёдор Фёдорович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой растениеводства им. И.А. Стебута ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Гаспарян Ирина Николаевна**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

**Дидманидзе Отари Назирович**, академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

**Долженко Виктор Иванович**, академик Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель Центра биологической регламентации использования пестицидов ФГБНУ ВИЗР;

**Долженко Татьяна Васильевна**, доктор биологических наук, доцент, доцент кафедры защиты и карантина растений ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Донских Нина Александровна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и луговодства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Епимахова Елена Эдугартовна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор базовой кафедры частной зоотехнии, селекции и разведения животных ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ;

**Иванов Алексей Иванович**, член-корреспондент Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом физико-химической мелиорации и опытного дела ФГБНУ АФИ;

**Карташевич Анатолий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и машин для природоустройства УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»;

**Киру Степан Димитрович**, доктор биологических наук, профессор кафедры растениеводства им. И.А. Стебута ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Лаврищев Антон Викторович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Лаптев Георгий Юрьевич**, доктор биологических наук, директор ООО «Биотроф»;

**Левшин Александр Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

**Митюков Алексей Савельевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБУН СПб ФИЦ РАН;

**Монахос Сократ Григорьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

**Новиков Михаил Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Осипова Галина Степановна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Павлюшин Владимир Алексеевич**, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР;

**Парлюк Екатерина Петровна**, доктор технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева;

**Персикова Тамара Филипповна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой почвоведения УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»;

**Попов Владимир Дмитриевич**, академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;

**Ракутько Сергей Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией энергоэффективных электротехнологий ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;

**Рогозина Елена Вячеславовна**, доктор биологических наук, заведующий, научный сотрудник отдела генетических ресурсов картофеля ФГБНУ ВИР;

**Ружьев Вячеслав Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета, ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Салеева Ирина Павловна**, член-корреспондент Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией технологии производства мяса птицы ФНЦ «ВНИТИП» РАН;

**Сафронов Сергей Леонидович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ветеринарной гигиены, кормления и разведения животных ФГБОУ ВО СПбГУВМ;

**Смелик Виктор Александрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Смыков Анатолий Владимирович**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории южных плодовых и орехоплодных культур, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»;

**Сорокопудов Владимир Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры декоративного садоводства и газоноведения ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

**Спиридонов Анатолий Михайлович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО СПбГАУ;

**Станишевская Ольга Игоревна**, доктор биологических наук, руководитель отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц ВНИИГРЖ ФГБНУ «ФИЦЖ – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»;

**Терлецкий Валерий Павлович**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики ВНИИГРЖ ФГБНУ «ФИЦЖ – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»;

**Чесноков Юрия Валентинович**, доктор биологических наук, директор ФГБНУ АФИ;

**Юдаев Игорь Викторович**, доктор технических наук, профессор кафедры применения электроэнергии ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ;

**Якушев Виктор Петрович**, академик Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом моделирования адаптивных агротехнологий ФГБНУ АФИ.

**IZVESTIYA OF SAINT-PETERSBURG  
STATE AGRARIAN UNIVERSITY**

Peer-reviewed scientific journal  
4 issues per year  
№ 4 (73)

Editor-in-Chief

**Morozov Vitaliy Yurievich**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Rector

Deputy Editor-in-Chief

**Kolesnikov Roman Olegovich**

Candidate of Veterinary Sciences, Vice-Rector for Scientific,  
Innovative and International Work

Executive Journal Editor

**Mel'nikova Darya Andreevna**

Candidate of Historical Sciences

**EDITORIAL BOARD**

**Atroshchenko Gennady Parfyonovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Fruit and Vegetable Growing and Ornamental Gardening, FSBEI HE SPbSAU;

**Afanasenko Olga Sylvestrovna**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Plant Immunity to Diseases, FSBSI VIZR;

**Bezzubtseva Marina Mikhailovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Energy Supply of Enterprises and Electrical Technologies, FSBEI HE SPbSAU;

**Bolgov Anatoly Efremovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Acting Head of the Department of Animal Science, Fish Farming, Agronomy and Land Management, FSBEI PetrSU;

**Ganusevich Fedor Fedorovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Crop Research named after. I. A. Stebut, FSBEI HE SPbSAU;

**Gasparyan Irina Nikolaevna**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation and High Technologies in Crop Production, FSBEI HE RSAU – MTAA;

**Didmanidze Otari Nazirovich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobile Transport, FSBEI HE RSAU – MTAA;

**Dolzhenko Victor Ivanovich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Center of Biological Regulation of Pesticides Use, FSBSI VIZR;

**Dolzhenko Tatiana Vasilievna**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Protection and Quarantine, FSBEI HE SPbSAU;

**Donskikh Nina Alexandrovna**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Farming and Grassland Research, FSBEI HE SPbSAU;

Elena Edugartovna Epimakhova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the basic department "Private Zootechnics, Breeding and Animal Breeding", FSBEI VO Stavropol State Agrarian University;

**Ivanov Aleksey Ivanovich**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Department of Physical and Chemical Melioration and Experimental Studies, FSBSI ARI;

**Kartashevich Anatoly Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Tractors, Cars and Machines for Nature Management, EI «Belarusian State Agricultural Academy»;

**Karynbaev Amanbai Kambarbekovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, LLP «South-West Scientific Research Institute of Livestock and Plant Production»;

**Kiru Stepan Dimitrovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Plant Growing named after. I. A. Stebut, FSBEI HE SPbSAU;

**Lavrishchev Anton Viktorovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L.N. Alexandrova, FSBEI HE SPbSAU;

**Lapteev Georgy Yurievich**, Doctor of Biological Sciences, Director of LLC «Biotrof»;

**Levshin Alexander Grigorievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Operation of Tractor Machines and High Technologies in Crop Production" RSGAU-MSKHA;

**Mityukov Alexey Savelyevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, FGBUN SPb FIC RAS;

**Monakhos Sokrat Grigorievich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Garden Plants, FSBEI HE RSAU – MTAA;

**Novikov Mikhail Alekseevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, FSBEI HE SPbSAU;

**Osipova Galina Stepanovna**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Fruit and Vegetable Cultivation and Ornamental Gardening, FSBEI HE SPbSAU;

**Pavlyushin Vladimir Alekseevich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Microbiological Plant Protection, FSBSI VIZR;

**Parlyuk Ekaterina Petrovna**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Department of Tractors and Automobiles, FSBEI HE RSAU – MTAA;

**Persikova Tamara Fillipovna**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Science, EI «Belarusian State Agricultural Academy»;

**Popov Vladimir Dmitrievich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, of IEEP – branch of FSBSI FSAC VIM;

**Rakutko Sergey Anatolyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Energy Efficient Electrotechnologies, IEEP – branch of FSBSI FSAC VIM;

**Rogozina Elena Vyacheslavovna**, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Department of Potato Genetic Resources, FSBSI VIR;

**Ruzhyev Vyacheslav Anatolievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Technical Systems, Service and Energy, FSBEI HE SPbSAU;

**Saleeva Irina Pavlovna**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Poultry Meat Production Technology, FSC ARRTPI RAS;

**Safronov Sergey Leonidovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Hygiene, Feeding and Breeding of Animals, SPbGUVM;

**Smelik Viktor Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, FSBEI HE SPbSAU;

**Smykov Anatoly Vladimirovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher of the Laboratory of Southern Fruit and Nut Crops, Federal State Budgetary Scientific Institution "Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Research Center RAS;

**Sorokopudov Vladimir Nikolaevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, FSBEI HE RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev;

**Spiridonov Anatoly Mikhailovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Storage Technology and Processing of Agricultural Products, FSBEI HE SPbSAU;

**Stanishevskaya Olga Igorevna**, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Genetics, Breeding and Conservation of Genetic Resources of Agricultural Poultry, All-Russian Research Institute of Plant Breeding, FSBSI «L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry»;

**Terletsky Valery Pavlovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Molecular Genetics, All-Russian Research Institute of Plant Breeding, FSBSI «L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry»;

**Yudaev Igor Viktorovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electricity Use, FSBEI HE Kuban GAU;

**Yakushev Victor Petrovich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Modeling Adaptive Agricultural Technologies, FSBSI ARI.

## СОДЕРЖАНИЕ

### АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<b>Спиридонов А.М., Мазин А.М.</b> Продуктивность сортов клевера лугового в условиях Северо-Запада России .....	9
<b>Цирульник О.Г., Орлова А.Г., Кокорина А.Л., Ганусевич Ф.Ф., Киру С.Д., Степанова Т.В.</b> Влияние биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в условиях Ленинградской области .....	16
<b>Самбурова Ю.М., Осипова Г.С.</b> Научное обоснование применения препарата «Завязь универсальная» .....	25
<b>Ефремова М.А., Ельшаева И.В., Пинаева А.С.</b> Влияние органического вещества почвы на накопление кадмия сельскохозяйственными растениями .....	33
<b>Уланов Н.А., Уланов А.Н., Царенко В.П.</b> Экологический мониторинг поверхностных дренажно-сбросных и подземных вод осушаемого торфомассива «Гадовское» Кировской области.....	45
<b>Свиридова Л.Л., Кондратьева А.С., Корабельников И.С.,</b> Фитосанитарные проявления опытных почвенных образцов (с экономическим анализом).....	53
<b>Манакова Ю.С., Манаков П.С.</b> Агрохимическое обследование почв учебно-опытного хозяйства Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.....	63

### ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

<b>Васильева Л.Т., Морозов В.Ю., Бычаев А.Г.</b> Сравнительная характеристика морфо-биофизических качеств яиц двух пород перепелов яичного направления .....	71
<b>Дорофеева А.В., Головина Т.Н., Морозов В.Ю.</b> Изучение количественного состава всадников и анализ породного состава лошадей, выступающих в выездке в группах «А» и «Б» .....	80
<b>Йылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю., Ильина Л.А., Филиппова В.А., Калиткина К.А., Пономарева Е.С., Тюрина Д.Г., Спиридонов А.М.</b> Метагеномные профили бактериальных сообществ поверхности растений и силоса .....	89
<b>Абдельманова А.С., Денискова Т.Е., Волкова В.В.</b> Оценка современного состояния генофонда горского скота Дагестана по данным SNP-анализа.....	97

### АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Киприянов Ф.А., Савиных П.А., Максимов И.И.</b> Размер зерновок как критерий достаточности микронизации .....	107
<b>Ложкин В.Н., Фомичев А.И.</b> Теория и практика диагностирования аварийно-опасных режимов эксплуатации двигателей тракторного и комбайнового назначения .....	116
<b>Воронов Е.В., Новикова Г.В., Просвирякова М.В.</b> Исследование и разработка СВЧ-установки для термообработки и обеззараживания жиросодержащих отходов убоя животных .....	126
<b>Исупова А.М., Хорольский В.Я., Мастепаненко М.А., Епифанов А.П.</b> Методические положения выбора уставок регуляторов напряжения потребительских трансформаторных подстанций в сельских электрических сетях .....	137
<b>Юдаев И.В., Воронин С.М., Очиров Н.Г., Цыганов В.В., Эвиев В.А.</b> Условия эффективного применения возобновляемых источников энергии в России.....	146



## CONTENTS

### AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT

<b>Spiridonov A.M., Mazin A.M.</b> Productivity of red clover varieties in the conditions of the North-West of Russia .....	9
<b>Cirul'nik O.G., Orlova A.G., Kokorina A.L., Ganusevich F.F., Kiru S.D., Stepanova T.V.</b> The effect of biological products on yield spring barley in the conditions of the Leningrad Region.....	16
<b>Samburova Yu.M., Osipova G.S.</b> Scientific rationale for the use of the growth regulator «Ovary universal» .....	25
<b>Efremova M.A., Elshaeva I.V., Pinaeva A.S.</b> Influence of soil organic matter on the accumulation of cadmium by agricultural plants.....	33
<b>Ulanov N.A., Ulanov A.N., Tsarenko V.P.</b> Environmental monitoring of surface drainage-waste and underground waters of the drained peat bog «Gadovskoye» Kirov Region.....	45
<b>Sviridova L.L., Kondratieva A.S., Korabelnikov I.S.</b> Phytosanitary manifestations of experimental soil samples (with economic analysis).....	53
<b>Manakova Yu. S., Manakov P.S.</b> Agrochemical soil survey of the training and experimental farm of Saint-Petersburg State Agrarian University.....	63

### ANIMAL AND VETERINARY SCIENCE

<b>Vasilyeva L.T., Morozov V.Y., Bychaev A.G.</b> Comparative characteristics of morpho-biophysical qualities of eggs of two breeds of quails of egg direction.....	71
<b>Dorofeeva A.V, Golovina T.N., Morozov V.Y.</b> Studying the quantitative composition of riders and analysis of the breed composition of horses performing in dressage in groups «A» and «B».....	80
<b>Yildirim E.A., Laptev G.Y., Ilyina L.A., Filippova V.A., Kalitkina K.A., Ponomareva E.S., Turina D.G., Spiridonov A.M.</b> Metagenomic profiles of bacterial communities of plant surface and silage.....	89
<b>Abdelmanova A.S., Deniskova T.E., Volkova V.V.</b> Assessment of current state of gene pool of Dagestan Mountain cattle using SNP analysis.....	97

### AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGY

<b>Kipriyanov F.A., Savinykh P.A., Maksimov I.I.</b> Kernel size as a criterion of micronization sufficiency .....	107
<b>Lozhkin V.N., Fomichev A.I.</b> Theory and practice of diagnostics emergency-dangerous operating modes of tractor and harvester engines .....	116
<b>Voronov E.V., Novikova G.V., Prosviryakova M.V.</b> Research and development of microwave installation for heat treatment and disinfection fat-containing animal slaughter waste .....	126
<b>Isupova A.M., Khorolskiy V.Ya., Mastepanenko M.A., Epifanov A.P.</b> Methodological provisions for selecting settings of voltage regulators for consumer transformer substations in rural electric networks.....	137
<b>Yudaev I.V., Voronin S.M., Ochirov N.G., Tsyganov V.V., Eviev V.A.</b> Conditions for effective application of renewable energy sources in Russia .....	146

Научная статья

УДК 633.321

Код ВАК: 4.1.1.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-9-15

## ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

А.М. Спиридонов<sup>1</sup> ✉, А.М. Мазин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ [anatolij-spiridonov@yandex.ru](mailto:anatolij-spiridonov@yandex.ru)

<sup>2</sup>Федеральный научный центр лубяных культур,  
д. Родина, Псковский район, Псковская область, Россия

**Реферат.** Клевер луговой является хорошо изученной культурой, его возделывание насчитывает много веков. В полевом и луговом кормопроизводстве как бобовое растение клевер луговой способствует повышению кормовой ценности многолетних травостоев. Современные земледелие и растениеводство основаны на использовании большого разнообразия сортов. В этом отношении клевер луговой – достаточно богатое сортами кормовое растение. В полевом опыте в условиях Псковской области изучено большое разнообразие сравнительно новых сортов клевера лугового, относящихся к двум подтипам – раннеспелые и позднеспелые. Методика проведения исследований общепринятая в кормопроизводстве. На основе многолетних исследований установлено, что растения разных подтипов клевера различаются между собой как по морфологическим признакам, так и по хозяйственно-ценным, основным из которых является урожайность. Изученные сорта в течение трех лет жизни растений способны формировать высокие урожаи зелёной и сухой массы. Урожайность сухой массы (как основной критерий оценки в кормопроизводстве) позволяет объективно судить о пригодности использования некоторых из изученных сортов для создания высокопродуктивных кормовых угодий. Растения сортов обоих подтипов формировали в сумме за 3 года наблюдений до 28,4–28,5 т СМ/га. Из группы раннеспелых сортов наиболее высокой и устойчивой по годам продуктивностью характеризовались сорта Тайлен, Витебчанин и Надёжный, превышавшие стандарт (Трио) на 5,3–6,6 т СМ/га. В группе изученных позднеспелых сортов повышенная продуктивность – у травостоев сортов Делец, Орфей и Таёжный. Видовое участие растений клевера в травостоях указанных выше сортов достигало 48,8–2,8%, что на 13–19% выше, чем у стандартных сортов. Выделившиеся по продуктивности сорта можно рекомендовать к широкому производственному использованию.

**Ключевые слова:** клевер луговой, подтипы клевера, сорта, урожайность, сухая масса, зелёная масса

**Цитирование.** Спиридонов А.М., Мазин А.М. Продуктивность сортов клевера лугового в условиях Северо-Запада России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 9-15, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-9-15.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2019-0010).

**PRODUCTIVITY OF RED CLOVER VARIETIES  
IN THE CONDITIONS OF THE NORTH-WEST OF RUSSIA****A.M. Spiridonov<sup>1</sup> ✉, A.M. Mazin<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University,  
Pushkin, St. Petersburg, Russia

✉ anatolij-spiridonov@yandex.ru

<sup>2</sup>Federal Scientific Center of Bast Cultures,  
Rodina village, Pskov district, Pskov Region, Russia

**Abstract.** Red clover is a well-studied crop; its cultivation dates back many centuries. In field and meadow forage production, as a leguminous plant, red clover helps to increase the feed value of perennial grass stands. Modern agriculture and plant growing are based on the use of a wide variety of varieties. In this regard, red clover is a fairly rich forage plant. In a field experiment in the conditions of the Pskov Region, a wide variety of relatively new varieties of red clover, belonging to two subtypes – early ripening and late ripening, were studied. The research methodology is generally accepted in feed production. Based on many years of research, it has been established that plants of different subtypes of clover differ from each other both in morphological characteristics and in economically valuable ones, the main of which is productivity. The studied varieties are capable of producing high yields of green and dry matter within three years of plant life. Dry mass yield as the main evaluation criterion in forage production allows us to objectively judge the suitability of using some of the studied varieties for creating highly productive forage lands. Plants of varieties of both subtypes formed in total over 3 years of observations up to 28.4-28.5 t CM/ha. From the group of early ripening varieties, the varieties Taylen, Vitebchanin and Nadezhny were characterized by the highest and most stable productivity over the years, exceeding the standard (Trio) by 5.3-6.6 t cm/ha. In the group of late-ripening varieties studied, the grass stands of the Delets, Orfey and Tayozhny varieties had increased productivity. The species participation of clover plants in the herbs of the selected varieties reached 48.8-52.8%, which is 13-19% higher than for standard varieties. The varieties that stand out for their productivity can be recommended for wide industrial use.

**Keywords:** *red clover, subtypes of clover, varieties, yield, dry mass, green mass*

**Citation.** Spiridonov A.M., Mazin A.M. (2023), 'Productivity of red clover varieties in the conditions of the North-West of Russia', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no. 4, pp. 9–15, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-9-15.

**Financing.** The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Task of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center for Bast Crops" (topic No. FGSS-2019-0010).

**Введение.** В условиях современного сельскохозяйственного производства возрастает роль бобовых многолетних растений в обеспечении животных высококачественными кормами. До сих пор кормовая база в большинстве случаев не соответствует потребностям высокопродуктивного животноводства. Среди множества причин всё чаще отмечаются невысокий процент бобовых в структуре многолетних кормовых трав и вызванный этим дефицит белка и энергии в рационах кормления животных [1].

Клевер луговой является наиболее распространённым бобовым кормовым растением малого долгодетия. Ввиду того что клевер сохраняет присутствие в травостоях не более двух лет, особое значение приобретает стабильная возможность приобретения семян для обновления посевов этой культуры. Семеноводство несложное, а обилия и достаточной обеспеченности семенами по большинству сортов нет. При этом новые и вновь районированные сорта не очень распространены в производстве. Подбор наиболее адаптивных сортов, по мнению ряда учёных [2, 3, 4, 5, 6], является одной из важнейших задач клеверосеяния.

Северо-Запад России является достаточно благоприятным регионом для возделывания клевера лугового. При этом хорошие условия для этой культуры есть не во всех областях региона. Можно назвать наиболее оптимальными из них Псковскую, Новгородскую и часть Ленинградской области, где дерново-подзолистые почвы среднего гранулометрического состава и не слишком кислые. Хотя и в этих регионах встречается большое разнообразие почвенных разностей, на которых клеверосеяние невозможно [7, 8, 9].

Клевер луговой является экологически пластичной культурой в целом, при этом имеется ряд сортов с повышенной экологической пластичностью, адаптационные возможности которых наиболее ярко выражены [10, 11, 12]. Такие сорта чрезвычайно важны для широкого производственного распространения.

**Цель исследований** – изучение потенциала новых и малораспространённых сортов клевера лугового в течение последних 10-12 лет в условиях Псковской и Ленинградской областей для возможной рекомендации в производство. Результаты представленных в этой статье полевых исследований получены в 2019 – 2021 гг. в Псковской области.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Основными объектами полевых исследований, проведённых в разные годы, являлись одновидовые травостои клевера лугового сортов Трио, Волосовский 86, Ранний 2, Орфей, Кармин и других – всего 40 сортов и сортотипов. В условиях полевых опытов изучались преимущественно сорта отечественной селекции. Это особенно актуально в наши дни, когда решаются вопросы импортозамещения во всех сферах российской экономики, в том числе и в сельскохозяйственном производстве. Необходимо отметить, что отечественные сорта клевера лугового обладают более высокой адаптационной пластичностью, и в перспективе за счёт этого возможно значительное расширение площадей травостоев клевера лугового практически во всех природных зонах РФ [10, 11, 12].

Методики проведения полевого опыта с многолетними травами – общепринятые в кормопроизводстве, базируются в основном на рекомендациях ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса (1987 г.).

**Результаты исследований.** В целом годы изучений травостоев с клевером луговым по погодным условиям мало чем отличались от среднедолгодетных показателей прихода тепла и влаги и были благоприятны для роста и развития клевера. Вегетационный сезон 2019 года можно охарактеризовать как тёплый и умеренно влажный, а сезоны 2020 – 2021 гг. – как тёплые, но с недостатком влаги.

Приведённые в табл. 1 данные показывают, что в целом растения различных раннеспелых сортов формировали достаточно высокую продуктивность как зеленой, так и сухой массы. Критерий урожайности сухой массы наиболее традиционен и информативен в практике оценки продуктивности кормовых культур, поэтому основной анализ оценки урожайности мы проводим именно по сухой массе. За 3 года изучения коллекции сортов нами установлено, что максимальной продуктивностью сухой массы характеризовались сорта

Тайлен, Витебчанин и Надежный. Они формировали устойчиво высокие показатели урожайности сухой массы как в первый, второй и на третий годы жизни растений: 8,4; 10,8 и 8,0 т СМ с 1 га соответственно. Сорта Тайлен и Витебчанин в среднем за 3 года сформировали до 28,4 – 28,5 т СМ/га и также имели достаточно высокие показатели продуктивности за все 3 года жизни растений. Все 3 названных сорта в среднем за 3 года сформировали урожайность сухой массы на 5,3 – 6,6 т СМ/га выше, чем растения сорта Трио, принятого в опыте за стандарт. При этом сорта Шанс, Кармин и Ранний 2 формировали продуктивность сухой массы либо на уровне стандарта, либо ниже на 4,5 – 4,6 т СМ/га.

Таблица 1. Влияние сортового разнообразия на продуктивность растений раннеспелого клевера лугового, т/га (2019-2021 гг.)

Table 1. Effect of varietal diversity on plant productivity of early maturing red clover, t/ha (2019-2021)

№	Сорт	2019 г.		2020 г.		2021 г.		Сухая масса за 3 года	Откло-нения от st.
		зелёная масса	сухая масса	зеленая масса	сухая масса	зеленая масса	сухая масса		
1	Трио st.	25,5	5,5	37,5	9,3	34,8	7,1	21,9	-
2	Ранний 2	31,4	7,0	42,8	9,0	29,5	6,1	22,1	+0,2
3	Кармин	25,6	5,9	24,0	5,3	29,0	6,2	17,4	-4,5
4	Добряк	33,0	6,9	45,6	8,0	35,6	7,4	22,3	+0,4
5	Шанс	38,2	6,0	30,3	6,1	24,8	5,2	17,3	-4,6
6	Тайлен	36,5	7,4	55,5	11,5	43,6	9,6	28,5	+6,6
7	Надежный	38,7	8,4	53,4	10,8	37,9	8,0	27,2	+5,3
8	Витебчанин	37,3	7,8	52,3	11,9	47,1	8,7	28,4	+6,5
9	Ванюша	28,3	7,5	25,7	6,4	41,4	8,6	22,5	+0,6
	Среднее	32,7	6,9	40,8	8,7	36,0	7,4	23,1	+10,5
	НСР 05		0,5		0,6		0,5		

Данные о продуктивности травостоев позднеспелых сортов клевера лугового приведены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние сортового разнообразия на продуктивность растений позднеспелого клевера лугового, т/га, (2019-2021 гг.)

Table 2. Effect of varietal diversity on plant productivity of late maturing red clover, t/ha, (2019-2021).

№	Сорт	2019 г.		2020 г.		2021 г.		Сухая масса за три года	Откло-нения от st.
		зелёная масса	сухая масса	зеленая масса	сухая масса	зеленая масса	сухая масса		
1	Волосовский 86 st.	34,6	5,3	37,2	8,3	44,1	9,0	22,6	-
2	Орфей	30,3	6,4	41,1	8,4	45,9	8,8	23,6	+1,0
3	Седум	25,1	4,6	34,6	7,8	38,6	6,8	19,2	-3,4
4	Нива	22,0	5,6	33,2	7,6	49,9	8,9	22,1	-0,5
5	Таежник	30,6	6,2	35,3	8,3	54,7	8,9	23,4	+0,8
6	Новичок	28,2	6,1	35,7	7,8	42,7	8,5	22,4	-0,2
7	Приор	23,8	5,0	36,3	8,8	39,8	7,2	21,0	-1,6
8	Делец	30,5	4,8	52,5	10,3	63,0	12,5	27,6	+5,0
	Среднее	28,1	5,5	38,2	8,4	47,3	8,8	22,7	+1,1
	НСР 05		0,5		0,6		0,6		

Травостои позднеспелых сортов тоже сформировали высокие урожаи зеленой и сухой массы, однако максимум продуктивности у них, в отличие от раннеспелых сортов, приходится на второй и третий годы жизни растений. Это вполне объяснимо с точки зрения биологических особенностей растений: растения позднеспелого типа медленнее развиваются и показывают максимум продуктивности позже, чем растения раннеспелые. Из всех изученных позднеспелых сортов клевера лугового в первый год жизни более высокой продуктивностью сухой массы характеризовались сорта Орфей, Таёжник и Новичок: 6,4; 6,2 и 6,1 т СМ/га соответственно. На второй и третий год жизни растений более высокой урожайностью характеризовался сорт Делец – 10,3–12,5 т СМ/га, это на 2–3,5 т СМ/га выше, чем стандартный сорт Волосовский 86. В целом за 3 года жизни устойчиво высокую продуктивность сухой массы показал сорт Делец. В среднем за 3 года растения этого сорта оказались на 1,0 т СМ/га урожайнее сорта Волосовский 86. Из всех изученных в опыте позднеспелых сортов самым типичным можно назвать сорт Делец, сформировавший максимальные урожаи на второй и третий годы жизни растений. Это позволило ему в сумме за 3 года использования показать урожайность на 5 т СМ с гектара выше, чем у растений сорта Волосовский 86.

Видовое участие клевера в травостое – важная хозяйственная характеристика. Анализ видового состава травостоев с сортами клевера лугового показал, что в первые годы жизни растений видовое участие клевера лугового было высоким и колебалось по сортам в пределах 92,3–98,7%. На второй, а особенно на третий год жизни растений (2021 г.) клевер достаточно сильно выпадал из травостоя, травостой изреживался. Наиболее высокое видовое участие клевера в 2021 г. наблюдалось в группе раннеспелых сортов Витебчанин (51,1%), Тайлен (48,9%) и Надежный (48,8%), а также позднеспелых сортов – Делец (52,8%), Орфей (50,9%), Таёжник (49,7%), Новичок (49,3%). Видовое участие других сортов было на уровне 30–40%. В травостои начали внедряться несеяные виды разнотравья и злаки, что свойственно клеверу луговому как растению малого долголетия.

**Выводы.** Трёхлетний опыт полевых исследований клевера лугового в условиях Псковской области позволяет выделить по продуктивности и видовому участию в травостоях раннеспелые сорта Тайлен, Витебчанин и Надежный. За 3 года использования продуктивность травостоев этих сортов в сумме составила 27,2–28,5 т СМ/га, что на 5,3–6,6 т СМ/га выше, чем у стандартного сорта Трио. Из группы позднеспелых сортов устойчиво высокой продуктивностью отличался сорт Делец, сформировавший в сумме за три года 27,6 т СМ/га, что на 5 т СМ/га выше, чем стандарт. Сорт Волосовский 86 в опыте показал себя как очень надёжный сорт, формирующий в любые годы стабильно высокую урожайность массы. Но очевидно, что на смену районированным в прежние годы сортам Седум, Кармин и др. приходят сорта с повышенным потенциалом продуктивности. Это закономерное явление в практике клеверосеяния. Лейтмотивом в расширении сортовых посевов клевера является выведение и районирование большего сортимента. Это позволит в практике кормопроизводства создавать высокопродуктивные травостои с бобовым компонентом и значительно укрепить за счёт возделывания таких культур кормовую базу.

#### Список источников литературы

1. Кутузова А.А. Состояние и перспективы развития кормопроизводства в Нечернозёмной зоне РФ / А. А. Кутузова, А. С. Шпаков, В. М. Косолапов, Д. М. Тебердиев, В. Т. Воловик // Кормопроизводство. – 2021. – № 2. – С. 3–9.

2. Косолапов, В.М. Новые сорта кормовых культур – залог успешного развития кормопроизводства / В. М. Косолапов, С. В. Пилипко, С. И. Костенко // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 4. – С. 35 – 37.
3. Павлючик, Е.Н. Использование раннеспелых сортов клевера лугового в травосмесях на осушаемых землях Нечерноземья / Е. Н. Павлючик, А. Д. Капсамун, Н. Н. Иванова, В. А. Тюлин, О. С. Силина // Кормопроизводство. – 2019. – № 9. – С. 12 – 16.
4. Волошин, В.А. Особенности роста и развития культурных и дикорастущих форм клевера лугового (*Trifolium pretense* L.) в условиях Среднего Предуралья / В. А. Волошин // Кормопроизводство. – 2021. – № 2. – С. 15 – 20.
5. Нелюбина, Ж.С. Питательная ценность и продуктивность агрофитоценозов многолетних трав на основе клевера лугового тетраплоидного в условиях Среднего Предуралья / Ж. С. Нелюбина, Н. И. Касаткина, И. Ш. Фатыхов // Кормопроизводство. – 2020. – № 7. – С. 18 – 22.
6. Зезин, Н.Н. Урожайность клевера лугового в зависимости от агроклиматических условий Среднего Урала / Н. Н. Зезин, П. А. Постников, М. А. Тормозин, А. Б. Пономарёв // Кормопроизводство. – 2020. – № 6. – С. 20 – 24.
7. Лепкович, И.П. Перспективы использования луговых бобовых растений на Северо-Западе России / Лепкович И. П., Спиридонов А. М. // Аграрная Россия. – 2017. – № 8. – С. 7 – 11.
8. Спиридонов А.М. Урожайность и качество травостоев сортов клевера лугового на Северо-Западе России / А. М. Спиридонов, А. М. Мазин // Аграрная Россия. – 2021. – № 10 (2021). – С. 8 – 11.
9. Спиридонов, А.М. Сортовые особенности продуктивности клевера лугового в условиях Северо-Запада России / А. М. Спиридонов, А. М. Мазин // Аграрная Россия. – № 7 (2020). – С. 11–16.
10. Новосёлов, М.Ю. Изучение различных агроприёмов для повышения семенной продуктивности тетраплоидного клевера лугового / М. Ю. Новосёлов, Л. В. Дробышева, О. А. Старшинова, Э. С. Рекашус, А. А. Однородова // Кормопроизводство. – 2019. – № 11. – С. 32 – 36.
11. Фигурин, В.А. Продуктивность и питательная ценность травосмесей фестулолиума с разноспевающими сортами клевера лугового / В. А. Фигурин, А. П. Кислицина // Кормопроизводство. – 2019. – № 5. – С. 18 – 22.
12. Лукашов, В.Н. Продуктивность, питательная и энергетическая ценность травосмесей фестулолиума с бобовыми при разных способах посева в условиях Калужской области / В. Н. Лукашов, А. Н. Исаков // Кормопроизводство. – 2020. – № 2. – С. 13–17.

### References

1. Kutuzova A.A., State and prospects of development of feed production in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation / A. A. Kutuzova, A. S. Shpakov, V. M. Kosolapov, D. M. Teberdiev, V. T. Volovik // Feed production. – 2021. – No.2, pp. 3 – 9.
2. Kosolapov V.M., New varieties of fodder crops – the key to the successful development of feed production / V. M. Kosolapov, S. V. Pilipko, S. I. Kostenko // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. – 2015. – Vol. 29. – No. 4, pp. 35 – 37.
3. Pavlyuchik E.N., The use of early-maturing varieties of meadow clover in grass mixtures on drained lands of the Non-Chernozem Region / E. N. Pavlyuchik, A. D. Kapsamun, N. N. Ivanova, V. A. Tyulin, O. S. Silina // Fodder production. – 2019. – No. 9, pp. 12 – 16.
4. Voloshin V.A., Features of growth and development of cultivated and wild forms of meadow clover (*Trifolium pretense* L.) in the conditions of the Middle Urals / V. A. Voloshin // Fodder production. – 2021. – No.2, pp. 15 – 20.
5. Nelyubina Zh.S., Nutritional value and productivity of agrophytocenoses of perennial grasses based on meadow tetraploid clover in the conditions of the Middle Urals / Zh. S. Nelyubina, N. I. Kasatkina, I. S. Fatykhov // Fodder production. – 2020. – No.7., pp. 18–22.
6. Zezin N.N., Yield of meadow clover depending on the agro-climatic conditions of the Middle Urals / N. N. Zezin, P A. Postnikov, M. A. Brake, A. B. Ponomarev // Feed production. – 2020. – No. 6, pp. 20–24.
7. Lepkovich I.P., Prospects for the use of meadow legumes in the North-West of Russia / Lepkovich I. P., Spiridonov A. M. // Agrarian Russia. – 2017. – No. 8, pp. 7–11.

8. Spiridonov A.M., Productivity and quality of grass stands of meadow clover varieties in the North-West of Russia / A. M. Spiridonov, A. M. Mazin // Agrarian Russia. – 2021. – № 10 (2021), pp. 8–11.
9. Spiridonov A.M., Varietal features of productivity of meadow clover in the conditions of the North-West of Russia / A. M. Spiridonov, A. M. Mazin // Agrarian Russia. – No. 7 (2020), pp. 11–16.
10. Novoselov M.Yu., The study of various agricultural techniques to increase the seed productivity of tetraploid meadow clover / M. Yu. Novoselov, L. V. Drobysheva, O. A. Starshinova, E. S. Rekasus, A. A. Odnovorova // Feed production. – 2019. – No.11, pp. 32–36.
11. Figurin V.A., Productivity and nutritional value of festulolium grass mixtures with different varieties of meadow clover / V.A. Figurin, A.P. Kislitsina // Forage production. – 2019. – No. 5, pp. 18–22.
12. Lukashov V.N., Productivity, nutritional and energy value of herbal mixtures of festulolium with legumes at different methods of sowing in the conditions of the Kaluga Region / V. N. Lukashov, A. N. Isakov // Forage production. – 2020. – No 2, pp. 13–17.

#### Сведения об авторах

**Спиридонов Анатолий Михайлович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0003-1452-6698>, SPIN-код: 5030-1241; e-mail: [anatolij-spiridonov@yandex.ru](mailto:anatolij-spiridonov@yandex.ru).

**Мазин Алексей Михайлович**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур», <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>, SPIN-код: 3181-3030; e-mail: [a.mazin.psk@fncl.ru](mailto:a.mazin.psk@fncl.ru).

#### Information about the authors

**Anatolij M. Spiridonov**, Doc. Sci. (Agric.), Head of the Department of Technology of Storage and Processing of Agricultural Products, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State Agrarian University”, <https://orcid.org/0000-0003-1452-6698>, SPIN-code: 5030-1241; e-mail: [anatolij-spiridonov@yandex.ru](mailto:anatolij-spiridonov@yandex.ru).

**Alexej M. Mazin**, Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>, SPIN-code: 3181-3030; e-mail: [a.mazin.psk@fncl.ru](mailto:a.mazin.psk@fncl.ru).

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 01.09.2023; одобрена после рецензирования 17.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted to the editorial office 01.09.2023; approved after reviewing 17.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.*



Научная статья

УДК 633.1

Код ВАК 4.1.1.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-16-24

## ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О.Г. Цирульник<sup>1</sup> ✉, А.Г. Орлова<sup>1</sup>, А.Л. Кокорина<sup>1</sup>, Ф.Ф. Ганусевич<sup>1</sup>,  
С.Д. Киру<sup>1</sup>, Т.В. Степанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

✉ red9027@yandex.ru

**Реферат.** Яровой ячмень является ценной злаковой культурой в России и в мире. Из него получают крупы, муку, заменитель кофе. Большая часть производимого зерна идет на кормовые цели. Также ячмень является ценным сырьем для пивоваренной промышленности. Для повышения урожайности культур, в том числе злаковых, и для сохранения почвенного плодородия в настоящее время все больше используются препараты биологического происхождения. Это не только позволяет получать экологически чистый урожай, но также помогает снизить химическое влияние на растения и окружающую среду. Нами были проведены исследования по влиянию биопрепаратов на различные сорта ячменя в условиях Ленинградской области. Цель исследования – установить влияние биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в условиях Ленинградской области. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выявить влияние биопрепаратов на количественные показатели и урожайность различных сортов ярового ячменя. Схема опыта включала 19 вариантов: сорта ячменя ярового Надежный, Московский 86, Нур, Суздалец, перспективные сорта Милан, Любояр (не включены в Госреестр селекционных достижений), обработанные препаратами Ризорин (на основе PGPR-бактерий *Agrobacterium radiobacter*), Ультрекс (на основе микромицетов *Trichoderma harzianum*), Спорекс (на основе бактерий *Bacillus subtilis*); биопрепараты разработаны ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии. Контроль: ячмень яровой с. Московский 86, обработанный водой. Препараты применяли путем смачивания семян в день посева в дозе, рекомендованной производителем: Спорекс – 1 л/т, Ризорин и Ультрекс – 1,5 л/т. Повторность опыта четырехкратная. Наиболее эффективным себя проявил в наших исследованиях препарат Спорекс: он положительно повлиял на продуктивность и урожайность практически всех сортов ячменя.

**Ключевые слова:** ячмень яровой, биопрепараты, продуктивность, урожайность, число колосков в 1 колосе, продуктивные колосья, масса зерна с 1 колоса, коэффициент продуктивной кустистости

**Цитирование.** Цирульник О.Г., Орлова А.Г., Кокорина А.Л., Ганусевич Ф.Ф., Киру С.Д., Степанова Т.В. Влияние биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 16–24, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-16-24.

**THE EFFECT OF BIOLOGICAL PRODUCTS ON YIELD  
 SPRING BARLEY IN THE CONDITIONS OF THE LENINGRAD REGION**

**O.G. Cirul`nik<sup>1</sup> ✉, A.G. Orlova<sup>1</sup>, A.L. Kokorina<sup>1</sup>, F.F. Ganusevich<sup>1</sup>,  
 S.D. Kiru<sup>1</sup>, T.V. Stepanova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia;

✉ red9027@yandex.ru

**Abstract.** Spring barley is a valuable cereal crop both in Russia and in the world. Cereals, flour, and coffee substitute are obtained from it. Most of the grain produced is used for fodder purposes. Barley is also a valuable raw material for the brewing industry. To increase the yield of crops, including cereals, as well as to preserve soil fertility, we use preparations of biological origin increasingly. This not only allows you to get environmentally friendly crops, but also helps to reduce the chemical impact on plants and the environment. We have also conducted studies on the effect of biological products on various varieties of barley in the Leningrad Region. The aim of the study is to establish the effect of biological products on the yield of spring barley in the conditions of the Leningrad Region. To achieve the goal, the following tasks were set: to identify the effects of biological products on quantitative indicators and yields of various varieties of spring barley in the Leningrad Region. The scheme of the experiment included 19 variants: spring barley varieties Reliable, Moskovsky 86, Milan, Lyuboyar, Nur, Suzdalets, treated with Risorin, Ultrex, Sporex (biologics developed by the Institute of Agricultural Microbiology). Control: spring barley from Moskovsky 86, treated with water. The preparations were applied by wetting the seeds, on the day of sowing, at the dose recommended by the manufacturer. The repetition of the experience is fourfold. The drug Sporex proved to be the most effective in our studies, as it positively affected the productivity and yield of almost all varieties of barley.

**Keywords:** *spring barley, biological products, yield, productivity, number of spikelets in 1 ear, productive ears, grain weight from 1 ear, coefficient of productive bushiness*

**Citation.** Cirul`nik O.G., Orlova A.G., Kokorina A.L., Ganusevich F.F., Kiru S.D., Stepanova T.V. The effect of biological products on the yield of spring barley in the conditions of the Leningrad Region // *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*. – 2023. – № 4 (73). – Pp. 16–24, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-16-24.

**Введение.** Яровой ячмень является ценной злаковой культурой в России и в мире. Из него получают крупы, муку, заменитель кофе. Большая часть производимого зерна идет на кормовые цели. Также ячмень является ценным сырьем для пивоваренной промышленности.

Для повышения урожайности культур, в том числе злаковых, и для сохранения почвенного плодородия в настоящее время все больше используются препараты биологического происхождения. Это не только позволяет получать экологически чистый урожай, но также помогает снизить химическое влияние на растения и окружающую среду.

Многие ученые [1, 3–6, 8–14] проводят исследования по влиянию биопрепаратов на продуктивность и урожайность ячменя путем улучшения минерального питания растений и защиты их от вредителей и болезней. Нами в 2022–2023 гг. были проведены исследования по влиянию биопрепаратов на различные сорта ячменя в условиях Ленинградской области.

**Цель исследования** – установить влияние биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в условиях Ленинградской области. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выявить влияние биопрепаратов на продуктивность и элементы структуры урожая различных сортов ярового ячменя в условиях Ленинградской области.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Опыт проводился на малом опытном поле Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Характеристики почвы: дерново-подзолистая, остаточна карбонатная на карбонатной марене, среднесуглинистая. Глубина пахотного слоя 22–24 см. Содержание гумуса 3,9%, рН = 5,8. Хорошо обеспечена фосфором и калием (19,8 и 20 мг/100 г почвы).

Закладка опыта проводилась 22 мая в 2022 г. и 20 мая в 2023 г. Уборка урожая в 2022 г. – 8 сентября, в 2023 г. – 15 сентября. В статье представлены средние данные за 2 года исследований.

Для закладки полевого опыта и математической обработки данных использовали методику полевого опыта Б.А. Доспехова [2]. Учеты проводились согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [7].

Схема опыта включала 19 вариантов: сорта ячменя ярового Надежный, Московский 86, Нур, Суздалец, перспективные сорта Милан, Любояр (не включены в госреестр селекционных достижений), обработанные препаратами Ризорин (на основе PGPR-бактерий *Agrobacterium radiobacter*), Ультрекс (на основе микромицетов *Trichoderma harzianum*), Спорекс (на основе бактерий *Bacillus subtilis*); биопрепараты разработаны ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии. Контроль: ячмень яровой с. Московский 86, обработанный водой. Препараты применяли путем смачивания семян в день посева в дозе, рекомендованной производителем: Спорекс – 1 л/т, Ризорин и Ультрекс – 1,5 л/т. Повторность опыта четырехкратная.

**Результаты исследований.** Сельскохозяйственные культуры успешно возделываются при наличии в почве достаточного количества влаги. Особенно велики потребности во влаге в период интенсивного роста растений. Запасы почвенной влаги пополняются преимущественно атмосферными осадками. За период активной вегетации ярового ячменя сумма осадков в 2022 г. составила 331,8 мм, в 2023 г. – 224,2 мм. Рост растений также зависит от температуры воздуха, являющейся одним из факторов, определяющих испарение. Поэтому для характеристики степени увлажнения территории мы использовали гидротермический коэффициент ГТК (табл. 1).

В оба года исследований май был засушливым, что непосредственно отразилось на появлении всходов, но достаточное и даже избыточное увлажнение в последующие месяцы положительно повлияло на формирование элементов структуры урожая и на саму урожайность различных сортов ярового ячменя.

Таблица 1. Характеристика степени увлажнения территории (ГТК)  
Table 1. Characteristics of the degree of humidification of the territory (HI)

Год	Месяц					Вегетационный период
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
2022	0,6	0,9	1,0	2,3	1,8	1,4
2023	0,5	1,0	1,4	0,6	1,1	1,0

Урожайность зерновых культур во многом зависит от количества растений на единице площади и их продуктивности. Чем больше сохраняется к уборке продуктивных стеблей и чем выше средняя масса зерна в колосе или метёлке, тем выше урожайность. Поэтому для определения эффективности применяемых препаратов было изучено их влияние на следующие показатели: число колосков в колосе, количество продуктивных стеблей, массу зерна в колосе, коэффициент продуктивной кустистости ярового ячменя (табл. 2).

За контрольный вариант был принят сорт ярового ячменя Московский 86, семена которого были обработаны водой. На этом варианте было получено 17,8 шт. колосков в колосе и 383 продуктивных стебля на 1 м<sup>2</sup>, масса зерна одного колоса составляла 0,63 г.

Было установлено, что применение биопрепарата Ризорин положительно повлияло на количество колосков в колосе на всех сортах ячменя, кроме с. Надежный. Прибавки были от 1,4 до 2,3 шт. (НСР<sub>05</sub> = 1,2 шт.). На формирование продуктивных стеблей данный препарат не оказал значительного влияния. Прибавка массы зерна с колоса была отмечена только на с. Милан – 0,19 г (НСР<sub>05</sub> = 0,14 г).

Биопрепарат Ультрекс обеспечил увеличение числа колосков в 1 колосе на яровом ячмене Любояр, прибавка к контролю была 2,6 шт. На других сортах его влияние на исследуемые параметры было в пределах ошибки опыта.

Влияние бактериального препарата Спорекс было отмечено на всех сортах ярового ячменя, кроме с. Любояр. На сортах ячменя Милан и Нур возросло количество колосков в колосе на 2,6 и 2,5 шт. соответственно. У сортов Московский 86, Суздалец и Надежный было отмечено увеличение продуктивных стеблей – от 73 до 140 шт./м<sup>2</sup> по сравнению с контролем (НСР<sub>05</sub> = 36 шт./м<sup>2</sup>). Масса зерна в колосе увеличилась при применении Спорекса на сортах ячменя Надежный, Суздалец, Милан и Нур – от 0,14 до 0,27 г (НСР<sub>05</sub> = 0,14 г).

На коэффициент продуктивной кустистости ярового ячменя влияния изучаемых препаратов не было отмечено – все прибавки были в пределах ошибки опыта (табл. 3).

Конечным обобщающим и важным интегральным показателем является урожайность культур. Урожайность различных сортов ярового ячменя при применении биопрепаратов представлена на рисунке.

В результате проведенных опытов установлено: биопрепарат Ризорин увеличил выход зерна у с. Милан на 1,1 т/га по сравнению с контрольным вариантом (при НСР<sub>05</sub> = 0,4 т/га), урожайность составила 3,5 т/га.

Таблица 2. Элементы структуры урожая ярового ячменя  
Table 2. Elements of spring barley yield structure

№ п/п	Препарат	Сорт	Число колоско в колосе, шт	Прибавка, + / - к контролю	Продуктивные стебли, шт/м <sup>2</sup>	Прибавка, + / - к контролю	Масса зерна в колосе, г	Прибавка, + / - к контролю
1	Контроль	Московский 86	17,8	-	383	-	0,63	-
2	Ризорин	Московский 86	19,2	<b>+1,4</b>	440	+57	0,60	-0,03
		Надежный	16,1	-1,7	407	+24	0,55	-0,08
		Любояр	19,9	<b>+2,1</b>	320	-63	0,67	+0,04
		Милан	20,1	<b>+2,3</b>	420	+37	0,84	<b>+0,19</b>
		Суздалец	19,5	<b>+1,7</b>	265	-118	0,62	-0,01
		Нур	19,4	<b>+1,6</b>	357	-26	0,69	+0,06
3	Ультрекс	Московский 86	17,9	+0,1	423	+40	0,70	+0,07
		Надежный	18,3	+0,5	310	-73	0,73	+0,10
		Любояр	20,4	<b>+2,6</b>	400	+17	0,76	+0,13
		Милан	16,9	-0,9	320	-63	0,58	-0,05
		Суздалец	16,3	-1,5	483	+100	0,54	-0,09
		Нур	18,2	+0,4	337	-46	0,72	+0,09
4	Спорекс	Московский 86	17,6	- 0,18	456	<b>+73</b>	0,61	-0,02
		Надежный	16,9	-0,9	523	<b>+140</b>	0,77	<b>+0,14</b>
		Любояр	15,7	-2,1	295	-88	0,52	-0,11
		Милан	20,4	<b>+2,6</b>	410	+27	0,83	<b>+0,20</b>
		Суздалец	18,9	+1,1	473	<b>+90</b>	0,78	<b>+0,15</b>
		Нур	20,3	<b>+2,5</b>	407	<b>+24</b>	0,90	<b>+0,27</b>
НСР <sub>05</sub>				1,2		36		0,14

Таблица 3. Коэффициент продуктивной кустистости ярового ячменя  
 Table 3. Productive bushiness coefficient of spring barley

Препарат	Московский 86		Надежный		Любаяр		Милан		Суздалец		Нур	
	коэффициент	+/- к контролю	коэффициент	+/- к контролю	коэффициент	+/- к контролю	коэффициент	+/- к контролю	коэффициент	+/- к контролю	коэффициент	+/- к контролю
Контроль	1,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ризорин	1,31	-0,03	1,33	-0,01	1,29	-0,05	1,38	0,04	1,27	-0,07	1,32	-0,02
Ультрекс	1,38	+0,04	1,40	+0,06	1,37	+0,03	1,27	-0,07	1,36	+0,03	1,29	-0,05
Спорекс	1,33	-0,01	1,43	+0,09	1,39	+0,05	1,36	0,02	1,44	+0,10	1,35	+0,01
НСР <sub>05</sub>	0,14											

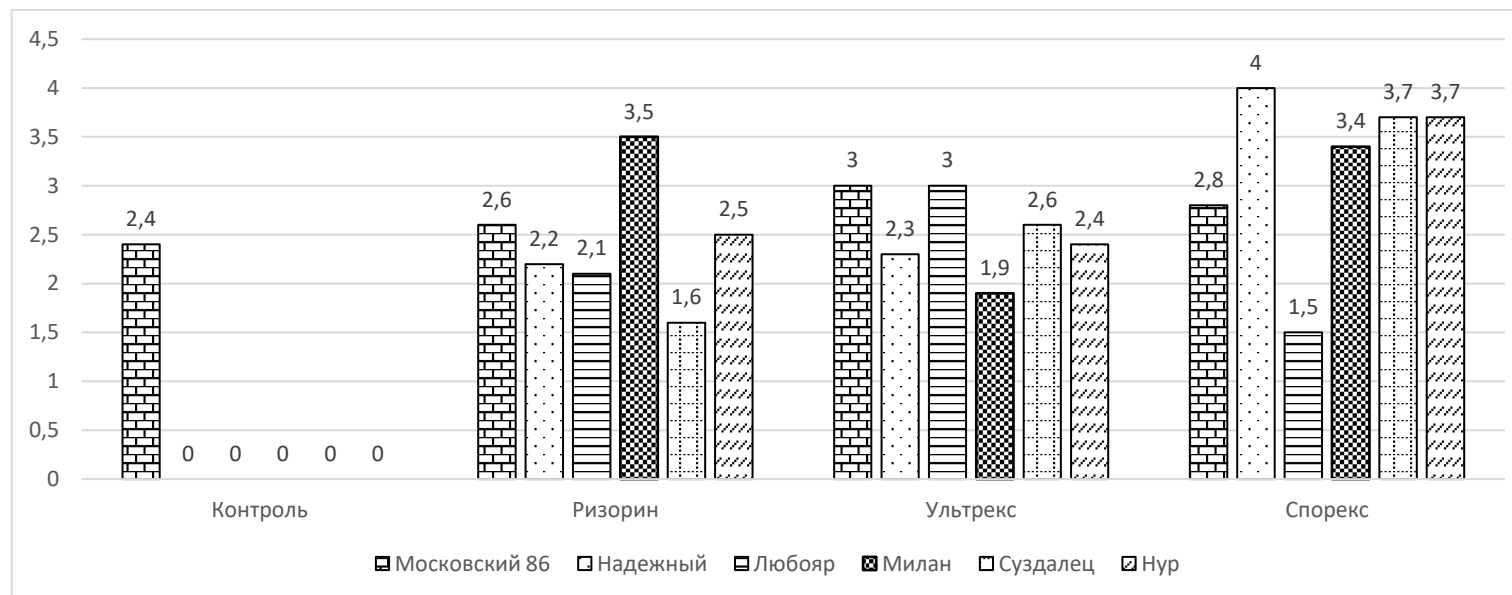


Рисунок. Урожайность ярового ячменя, т/га (НСР<sub>05</sub> = 0,4)  
 Figure. Yield of spring barley, t/ha

У сортов ячменя Московский 86 и Любояр прибавку урожайности в 0,6 т/га обеспечил препарат Ультрекс. Бактериальный препарат Спорекс повысил выход зерна на всех сортах, кроме с. Любояр, урожайность была от 2,8 до 4,0 т/га, а прибавка от 0,4 до 1,6 т/га соответственно по вариантам.

#### **Выводы:**

1. Наиболее эффективным себя проявил препарат Спорекс, так он положительно повлиял на продуктивность и урожайность практически всех сортов ячменя, урожайность была от 2,8 до 4,0 т/га, а прибавка от 0,4 до 1,6 т/га соответственно по вариантам.
2. На яровом ячмене с. Московский 86 препараты Ультрекс и Спорекс обеспечили прибавку в 0,6 и 0,4 т/га при  $НСР_{05} = 0,4$  т/га.
3. На перспективном сорте ярового ячменя Милан повысили продуктивность и урожайность биопрепараты Ризорин и Спорекс, на с. Любояр – биопрепарат Ультрекс, где было отмечено повышение урожайности на 0,6 т/га по сравнению с контрольным вариантом.

#### **Список источников литературы**

1. Действие «Гумитона» и микробных препаратов на ферментативную активность прикорневой зоны ярового ячменя / А. А. Суслов, Д. Г. Свириденко, Н. А. Васильева [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 1. – С. 145–154.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
3. Князева, А.П. Влияние биологических препаратов на урожайность ярового ячменя / А. П. Князева, А. С. Мастеров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 90–93.
4. Козлова, М.Ю. Урожайность ячменя и многолетних трав в зависимости от применения биопрепаратов и удобрений / М. Ю. Козлова // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – № 3. – С. 41-45.
5. Кравцова, Е. В. Повышение урожайности ярового ячменя при использовании сидератов / Е. В. Кравцова // Активная честолюбивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. – 2017. – № 2. – С. 83-86.
6. Ламмас, М.Е. Динамика численности сорной растительности при обработке биостимуляторами роста растений в посевах ярового ячменя / М. Е. Ламмас, А. В. Шитикова // Известия Дагестанского ГАУ. – 2022. – № 16. – С. 84-88.
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под рук. М. А. Фединой. – М., 1989. – 195 с.
8. Нерсесян, С.М. Влияние микробного препарата БакСиб на озимый ячмень и состояние чернозема южного / С. М. Нерсесян, И. М. Дубовский, Л. Н. Коробова // Вестник НГАУ. – 2022. – № 3. – С. 55-66.
9. Рябцева, Н.А. Биопрепараты по вегетации ячменя / Н. А. Рябцева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 40-45.
10. Рябцева, Н.А. Влияние росторегулирующих препаратов на продуктивность ярового ячменя / Н. А. Рябцева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 59-63.
11. Influence of bacterial infection on physical characteristics and sowing qualities of Zea mays seeds / N. S. Priyatkin, M. V. Arkhipov, L. P. Gusakova [et al.] // 32nd ISTA Congress – Seed Symposium, Hyderabad, India, 26–28 June 2019 – Hyderabad: ISTA International Seed Testing Association, 2019. – P. 86.
12. Application of Associative Rhizobacteria for Increasing the Soft Wheat Productivity and Reducing the Diseases Harmfulness / L. E. Kolesnikov, B. A. Hassan, A. A. Belimov [et al.] // Indian Journal of Agricultural Research. – Vol. 57, Issue 5 (October 2023), pp. 555-558, doi: 10.18805/IJARE.AF-766.
13. Identification of the effectiveness of associative rhizobacteria in spring wheat cultivation / L. E. Kolesnikov, A. A. Belimov, E. Y. Kudryavtseva [et al.] // Agronomy Research. – 2021. – Vol. 19, No. 3, pp. 1530–1544. – DOI 10.15159/AR.21.145. – EDN WKDGPN.

14. The effectiveness of biopreparations in soft wheat cultivation and the quality assessment of the grain by the digital x-ray imaging / L. E. Kolesnikov, M. D. Solodyannikov, I. I. Novikova [et al.] // *Agronomy Research*. – 2020. – Vol. 18, No. 4. – pp. 2436-2448. – DOI 10.15159/AR.20.206. – EDN CMNDFJ.

#### References

1. Suslov A.A. (2022) "The effect of "Humiton" and microbial preparations on the enzymatic activity of the root zone of spring barley", *Tauride Bulletin of Agrarian Science*, No. 1, pp. 145-154.
2. Dospekhov B.A. *Methodology of field experience*, M., Agropromizdat, 1985, 352 p.
3. Knyazeva A.P. and Masters, A.S. (2021) "The influence of biological preparations on the yield of spring barley", *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, No. 2, pp. 90-93.
4. Kozlova M.Yu. (2020), "Yield of barley and perennial grasses depending on the use of biological products and fertilizers", *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, No. 3, pp. 41-45.
5. Kravtsova E.V. (2017), "Increasing the yield of spring barley when using siderates", *Active ambitious intellectual youth to agriculture*, No. 2, pp. 83-86.
6. Lammam M.E. and Shitikova, A.V. (2022) "The dynamics of the number of weeds when treated with biostimulators of plant growth in spring barley crops", *Izvestiya Dagestanskogo GAU*, No. 16, pp. 84-88.
7. Fedina M.A. (ed.) (1989), *Methodology of state variety testing of agricultural crops*, M., 1989, 195 p.
8. Nersesyan S.M. (2022), "The effect of the microbial preparation BakSib on winter barley and the state of southern chernozem", *Bulletin of the NGAU*, No. 3, pp. 55-66.
9. Ryabtseva N.A. (2021), "Biological preparations for the vegetation of barley", *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, No. 2, pp. 40-45.
10. Ryabtseva N.A. (2022) "The effect of growth-regulating drugs on the productivity of spring barley", *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, No. 1, pp. 59-63.
11. Priyatkin N.S. et al. (2019), "Influence of bacterial infection on physical characteristics and sowing qualities of Zea mays seeds", *32nd ISTA Congress – Seed Symposium, Hyderabad, India, 26–28 June 2019*, p. 86.
12. Kolesnikov L. E. (2022), "Application of Associative Rhizobacteria for Increasing the Soft Wheat Productivity and Reducing the Diseases Harmfulness", *Indian Journal of Agricultural Research*, Vol. 57, Issue 5 (October 2023), pp. 555-558, DOI 10.18805/IJARE.AF-766.
13. Kolesnikov L. E. (2021), "Identification of the effectiveness of associative rhizobacteria in spring wheat cultivation", *Agronomy Research*, Vol. 19, No. 3, pp. 1530-1544, DOI 10.15159/AR.21.145, EDN WKDGPN.
14. Kolesnikov L. E. (2020), "The effectiveness of biopreparations in soft wheat cultivation and the quality assessment of the grain by the digital x-ray imaging", *Agronomy Research*, vol. 18, No. 4, pp. 2436-2448, DOI 10.15159/AR.20.206, EDN CMNDFJ.

#### Информация об авторах

**Цирульник Ольга Геннадьевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства им. И.А. Стебута, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <http://orcid.org/0000-0003-2340-0587>; SPIN-код: 2089-4028; e-mail: red9027@yandex.ru.

**Орлова Анна Георгиевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой растениеводства им. И.А. Стебута, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <http://orcid.org/0000-0002-6580-8890>; SPIN-код 1256-2248; e-mail: yanevich-2@mail.ru.

**Кокорина Антонина Леонидовна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры растениеводства им. И.А. Стебута, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <http://orcid.org/0000-0003-4374-2613>; SPIN-код: 6457-1524; e-mail: red9027@yandex.ru.

**Ганусевич Федор Федоровича**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры растениеводства им. И.А. Стебута, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <http://orcid.org/0000-0003-1877-4453>; SPIN-код: 4049-0260; e-mail: 210ff@mail.ru.



**Киру Степан Димитрович**, доктор биологических наук, профессор кафедры растениеводства им. И.А. Стебута, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <http://orcid.org/0000-0002-8648-3837>; SPIN-код: 7524-1395; e-mail: s.kiru53@mail.ru.

**Степанова Татьяна Валерьевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой земледелия и луговодства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <http://orcid.org/0000-0002-9520-9549>, SPIN-код: 1623-1321; e-mail: zimtv@mail.ru.

#### Information about the authors

**Olga G. Cirul'nik**, Cand. Sci (Agric.), Associate Professor of the I.A. Stebut Department of Plant Growing, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 2089-4028; e-mail: red9027@yandex.ru.

**Anna G. Orlova**, Cand. Sci (Agric.), Associate Professor, Head of the I.A. Stebut Department of Plant Growing, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 1256-2248; e-mail: yanevich-2@yandex.ru.

**Antonina L. Kokorina**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Professor of the I.A. Stebut Department of Plant Growing, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 6457-1524; e-mail: red9027@yandex.ru.

**Fedor F. Ganusevich**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Professor of the I.A. Stebut Department of Plant Growing, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 4049-0260; e-mail: 210ff@mail.ru.

**Stepan D. Kiru**, Doc. Sci. (Biol.), Professor of the I.A. Stebut Department of Plant Growing, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 7524-1395; e-mail: s.kiru53@mail.ru.

**Tatiana V. Stepanova**, Cand. Sci (Agric.), Associate Professor, Head of the Department of Agriculture and Meadow Farming, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 1623-1321; e-mail: zimtv@mail.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 16.10.2023; одобрена после рецензирования 30.10.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 16.10.2023; approved after reviewing 30.10.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья  
УДК 635.9  
Код ВАК 4.1.4  
doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-25-33

## НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА «ЗАВЯЗЬ УНИВЕРСАЛЬНАЯ»

Ю.М. Самбунова<sup>1</sup> ✉, Г.С. Осипова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия  
✉ konstanta-1@yandex.ru

**Реферат.** Из литературных источников известно, что использование различных регуляторов роста растений для повышения продуктивности и качества сельскохозяйственных культур привлекает многих исследователей. Выращивание растений в современном цветочном садоводстве требует точного контроля роста и развития растений на протяжении всего цикла выращивания. В декоративном садоводстве на цветочных культурах данный вопрос изучен недостаточно полно. Применение регуляторов роста, как правило, экономически эффективно. В настоящей статье приводятся результаты исследования по определению эффективности применения препарата «Завязь универсальная» на рассаде пеларгонии зональной, а также по влиянию регулятора роста на товарные качества изучаемой культуры. Препарат «Завязь универсальная» стимулирует образование завязей и их рост при неблагоприятных условиях и отсутствии насекомых-опылителей, предотвращает опадение цветков и молодых завязей, обеспечивает повышение качества продукции. Изучаемый препарат относится к классу биопрепаратов природного происхождения. В задачи входило провести наблюдение за ростом и развитием пеларгонии зональной после применения стимулятора роста; оценить влияние препарата на цветение пеларгонии зональной; изучить экономическую эффективность от применения препарата; провести математическую обработку полученных данных. Исследования проводились в 2019–2020 гг. Схема опыта включала мелкодисперсионную обработку препаратом «Завязь универсальная» (1 г/л воды); двукратную обработку в период образования 6–8 листьев (начальный период роста) и через 30 дней от первой обработки. Контрольные растения обрабатывали водой. В качестве объектов исследования были взяты сорта и гибриды пеларгонии зональной Carmel, PAC Salmon Queen, Queen Ingrid, характеризующиеся разным эколого-географическим происхождением, из группы «Стандарт». Эта группа наиболее востребована на рынке, является универсальной как в городском озеленении, так и частном садоводстве.

**Ключевые слова:** пеларгония зональная, регулятор роста растений, гиббереллиновые кислоты, декоративные качества, технология культивирования, обработка растений, природные ростовые вещества, стимулирование цветения и плодообразования

**Цитирование.** Самбунова Ю.М., Осипова Г.С. Научное обоснование применения регулятора роста «Завязь универсальная» // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023 – № 4 (73). – С. 25–33, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-25-33.

SCIENTIFIC RATIONALE FOR THE USE OF THE GROWTH REGULATOR  
«OVARY UNIVERSAL»Yulia M. Samburova<sup>1</sup>✉, Galina S. Osipova<sup>1</sup><sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University,  
Pushkin, St. Petersburg, Russia

✉ konstanta-1@yandex.ru

**Abstract.** It is known from literary sources that the use of various plant growth regulators to increase the productivity and quality of agricultural crops attracts many researchers. Growing plants in modern flower gardening requires precise control of plant growth and development throughout the entire growing cycle. In decorative gardening on flower crops, this issue has not been studied completely enough. The use of growth regulators is usually cost-effective. This article presents the results of a study to determine the effectiveness of the use of «Ovary Universal» on seedlings of *Pelargonium zonale*, by the influence of the growth regulator on the commercial qualities of the studied culture. The «Ovary Universal» drug stimulates the formation of ovaries and their growth under unfavorable conditions and the absence of insect pollinators, prevents the fall of flowers and young ovaries, improves the quality of products. The studied drug belongs to the class of biological products of natural origin. The objectives of the study were to monitor the growth and development of *Pelargonium zonale* after the use of a growth stimulant; to evaluate the effect of the drug on the flowering of *Pelargonium zonale*; to study the economic efficiency of the drug; to carry out mathematical processing of the data obtained. The studies were conducted in 2019-2020 according to generally accepted methods. The scheme of the experiment included fine dispersion treatment with «Ovary Universal» drug (1 g / l of water); double treatment during the formation of 6-8 leaves (the initial growth period) and 30 days after the first treatment. Control plants were treated with water. Varieties and hybrids of *Pelargonium zonale* Carmel, PAC Salmon Queen, Queen Ingrid characterized by different ecological and geographical origin from the "Standard" group were taken as objects of research. This group is most in demand on the market, is universal, both in urban and private gardening.

**Keywords:** *Pelargonium zonal*, plant growth regulator, gibberellic acids, decorative qualities, cultivation technology, plant processing, natural growth substances, stimulation of flowering and fruit formation

**Citation.** Samburova Yu.M., Osipova G.S. (2023), ‘Scientific rationale for the use of the growth regulator “Ovary Universal”’, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no 4, pp. 25–33, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-25-33.

**Введение.** В новых социально-экономических условиях импортозамещение стало важнейшим элементом новой экономической политики России. В связи с этим промышленное цветоводство приобретает такую же значимость, как и развитие других отраслей сельского хозяйства. В связи с правительственной программой по импортозамещению на посадочный материал и с возрастающим спросом питомники декоративных культур остро нуждаются в качественном и разнообразном отечественном посадочном материале. Кроме того,

возрождается мода на пеларгонию зональную как горшечную культуру в комнатном и офисном озеленении.

Пеларгония зональная – многолетнее не зимующее в открытом грунте растение, получившее широкое распространение в декоративном садоводстве благодаря своей высокой экологической пластичности и отличной адаптации к условиям города.

Из литературных источников известно, что использование различных регуляторов роста растений для повышения продуктивности и качества сельскохозяйственных культур привлекает многих исследователей [1, 2, 3]. Одним из результатов применения гиббереллинов является стимуляция цветения растений. Известно, что уровень эндогенных гиббереллинов повышается с увеличением длины светового дня, следовательно, у растений умеренных широт цветение может контролироваться фотопериодом. Растения, цветущие при длинном дне, можно заставить цвести, используя гиббереллины. М.Х. Чайлахян отмечал, что рудбекия, каланхоэ, морковь хорошо отзывались на обработку гиббереллином, озимая пшеница не цвела после обработки, хотя для всех перечисленных видов важным фактором цветения является длинный день. Исходя из предыдущих исследований, можно предположить, что участие гиббереллина в регуляции цветения очевидно, однако результат зависит от биологических особенностей растений. Установлено, что опрыскивание сои в период бутонизации повышает урожайность и сбор масла с этой культуры [4].

Для сельскохозяйственных товаропроизводителей в условиях рыночных отношений использование цветочного ассортимента в значительной степени зависит от такого показателя, как товарные качества. Современный потребитель предпочитает приобретать рассаду декоративно-цветочных культур в фазах бутонизации или начала цветения, однако условия Северо-Запада не всегда позволяют предложить потребителю цветущую рассаду в конце апреля – начале мая. Для ускорения цветения можно применять препараты, стимулирующие процессы цветения и плодообразования.

При культивировании декоративно-цветочных растений целесообразно применять регуляторы роста [5, 6]. Применение регуляторов роста повышает эффективность размножения, благоприятно влияет на устойчивость растений к абиотическим и биотическим факторам среды, продлевает сроки декоративности цветочных культур [7]. Исследователями также отмечается видо- и сортоспецифичная реакция на обработку регуляторами роста [8]. Например, некорневые обработки земляники садовой препаратом «Завязь универсальная» увеличивают биосинтез зеленого пигмента, а также увеличивают скорость световых реакций фотосинтеза. На этом фоне происходит увеличение количества усов, розеток и отмечается увеличение средней массы ягоды [9].

**Цель исследования** – изучить влияние препарата «Завязь универсальная» на качество и декоративность рассады пеларгонии зональной.

Задачи исследования:

- определить биометрические параметры растений пеларгонии зональной при применении препарата «Завязь универсальная»;
- изучить влияние обработки препаратом на прохождение фенологических фаз пеларгонии зональной;
- оценить экономическую эффективность применения препарата «Завязь универсальная».

**Методы и объекты исследования.** Изучение влияния препарата «Завязь универсальная» на пеларгонию зональную проводилось в течении 2 лет (2019–2020). В

исследованиях использовали сорта пеларгонии зональной Carmel, PAC Salmon Queen, Queen Ingrid, характеризующиеся разным эколого-географическим происхождением, из группы «Стандарт». Эта группа наиболее востребована на рынке и является универсальной как в городском озеленении, так и частном садоводстве.

Сорт Carmel – стандартный тип роста. Цветок простой, белый с розовой каймой. Оригинатор – Schmidt USA Seed parent – Sport from Alice of Vincennes, год введения раньше 1939. Сорт PAC Salmon Queen – стандартный тип роста. Цветок махровый, бело-розовый с яркой каймой. Оригинатор – Elsner-PAC/ Elsner Ger. Год введения – 2010. Сорт Queen Ingrid – промышленный сорт. Тип роста – стандарт. Цветок полумахровый розово-зефирного цвета, с более темным центром. Страна происхождения – Швеция, 1920.

В опыте по изучению влияния обработок рассады пеларгонии зональной использовали регулятор роста «Завязь универсальная», в состав которого входят гиббереллиновые кислоты натриевой соли 5,5 г/кг, природные ростовые вещества, макро- и микроэлементы, влияющие на ускорение начала фазы бутонизация.

Препарат разработан ООО «ОРТОН», Россия; прошёл успешную апробацию при выращивании различных культур. Этот препарат экологически безопасен, не токсичен, так как применяется в очень низких концентрациях. Он стимулирует плодообразование, усиливает ветвление, повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды, очень быстро трансформируется в другие соединения, не накапливается в тканях растений, субстрате, воде. Известно, что применение препарата «Завязь универсальная» особенно эффективно для преодоления поздневесенних и раннелетних заморозков, засухи, резких колебаний температур. Все эти факторы оказывают губительное воздействие на бутоны, цветки и формирующиеся завязи овощных и плодовых культур, а это ведет к снижению урожайности, в цветоводстве – к снижению декоративности цветочных культур [10].

Исследования проводили в условиях защищенного грунта. Опыт был заложен в 3-кратной повторности, использовали по 10 черенков каждого сорта.

Агротехника. Растения выращивали в вегетационных сосудах объемом 250 мл, схема размещения 10x10 см. Состав грунта при выращивании – торфогрунт с перлитом 2:1. Массовая доля питательных веществ мг/л, не менее: азот ( $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ ) – 300; фосфор ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 320; калий ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 400; кислотность рН ксi: 5,5–6,0, досвечивание 14 часов, температура 20–22 °С.

Уход за растениями заключался в поливе в поддон и удалении отмерших листьев. Некорневые обработки растений пеларгонии зональной проводили регулятором роста «Завязь универсальная» в концентрации 1 г/л, данная концентрация рекомендована для усиления ростовых и формообразовательных процессов. Обработку проводили двукратно в утренние часы методом мелкодисперсионного распыления в фазе 6–8 листьев с интервалом в 30 дней. Контролем служили растения тех же сортов, обработанные водой.

Проводили следующие учеты и наблюдения: дата высадки укоренившейся рассады, фаза начала бутонизации и фаза начала цветения. Начало фазы определяли наступлением ее у каждого изучаемого сорта при наступлении у одного из учетных растений. Массовым проявлением считали вступление в данную фазу половины растений каждого сорта. Фенологические наблюдения за ростом и развитием рассады пеларгонии зональной проводились по общепринятой методике П.И. Лапина (1979). Биометрические измерения проводили по методу А.Ф. Дружинину (2009) [11].

**Результаты исследования.** При обработке препаратом «Завязь универсальная» увеличилась высота рассады сорта PAC Salmon Queen на 3,6 см, диаметр – на 5,1 см; у сорта Queen Ingrid соответственно 3,0 см и 5,5 см; у сорта Carmel – 3,2 см и 5,1 см (табл. 1).

Таблица 1. Влияние стимулятора завязь универсальная на габитус сортов пеларгонии зональной подгруппы «Стандарт» в фазу бутонизации (2019–2020 годы)

Table 1. The effect of the Ovary Universal stimulator on the habitus of Pelargonium zonale's subgroup «Standard» in the budding phase (2019–2020)

Сорт	Высота растения, см.			Диаметр растения, см		
	контроль	обработка завязь универсальная	$x \pm \sigma$	контроль	обработка завязь универсальная	$x \pm \sigma$
Carmel	13,3 ± 0,2	16,5 ± 0,3	3,2 ± 0,1	13,4 ± 0,3	18,5 ± 0,5	5,1 ± 0,3
Queen Ingrid	15,3 ± 0,1	18,3 ± 0,4	3,0 ± 0,2	15,3 ± 0,3	20,7 ± 0,2	5,5 ± 0,1
PAC Salmon Queen	14,9 ± 0,4	18,1 ± 0,5	3,6 ± 0,2	10,7 ± 0,4	15,7 ± 0,3	5,0 ± 0,2

Одним из показателей качества растений пеларгонии зональной является соотношение диаметра растений к высоте. Без обработки у сортов Carmel и Queen Ingrid соотношение диаметра к высоте составляло 1. У сорта PAC Salmon Queen – 0,72. После обработки препаратом «Завязь универсальная» у растений пеларгонии зональной в большей мере увеличился диаметр растений, изменилось соотношение диаметра растений к высоте от 0,87 у сорта PAC Salmon Queen до 1,13 у сорта Queen Ingrid (табл. 2).

Таблица 2. Влияние стимулятора завязь универсальная на соотношение диаметра к высоте растений пеларгонии зональной подгруппы «Стандарт» в фазу бутонизации (2019–2020)

Table 2. The effect of the «Ovary Universal» stimulator on the ratio of diameter to height of Pelargonium zonale's subgroup «Standard» plants in the budding phase (2019–2020)

Сорт	Контроль	Обработка завязь универсальная
Carmel	1	1,12
Queen Ingrid	1	1,13
PAC Salmon Queen	0,72	0,87

Бутонизация у растений сорта Carmel в контроле в среднем началась через 154 дня после посадки, с обработкой препаратом «Завязь универсальная» – через 130 дней, т. е. раньше на 24 дня. Массовая бутонизация наступила в контроле через 165 дней, при обработке – через 154 дня, опережение составило 21 день. Первые цветки появились на растениях в контроле на 175 день, при обработке – на 160 день, массовое цветение наступило у контрольных растений через 185 дней после посадки, при обработке препаратом через – 167 дней, т. е. на 18 дней раньше, чем в контроле.

У растений сорта Queen Ingrid начало бутонизации в контроле в среднем наступило через 160 дней после посадки; у растений, обработанных препаратом «Завязь универсальная», – через 132 дня, т. е. с опережением на 28 дней. Массовая бутонизация отмечена в контроле через 176 дней, при обработке – через 150 дней. Единичные цветки появились в контроле через 184 дня, у обработанных растений – через 162 дня, массовое цветение наступило в контроле через 197 дней, у растений, обработанных препаратом, – через 173 дня.

У контрольных растений сорта PAC Salmon Queen начало бутонизации в среднем наступило через 155 дней от посадки; у растений, обработанных препаратом – через 135 дней, т. е. опережение составило 20 дней. Массовая бутонизация отмечена в контроле через 171 день, а при обработке – на 153-й день. Начало цветения у контрольных растений отмечено на 182-й день, у обработанных – на 168-й день от посадки. Массовое цветение у контрольных растений отмечено на 193-й день, у обработанных растений – на 173-й день (табл. 3).

Таблица 3. Влияние стимулятора завязь универсальная на длительность фенофаз у сортов пеларгонии зональной подгруппы «Стандарт», суток (2019–2020)

Table 3. The effect of the «Ovary Universal» stimulator on the duration of phenophases of Pelargonium zonale's subgroup Standard varieties, days (2019–2020)

Сорт	Посадка-начало бутонизации		Посадка–массовая бутонизация		Посадка–начало цветения		Посадка–массовое цветение	
	контроль	обработка	контроль	обработка	контроль	обработка	контроль	обработка
Carmel	154±3	130±2	165±4	154±2	175±3	160±2	185±3	167±2
Queen Ingrid	160±1	132±2	176±3	150±2	184±2	162±1	197±2	173±3
PAC Salmon Queen	155±2	135±4	171±3	153±1	182±3	168±1	193±5	173±1

Затраты на выращивание пеларгонии зональной в контроле составили 10850 руб/м<sup>2</sup>, сокращение периода выращивания растений пеларгонии зональной при обработке препаратом снизило затраты на выращивание до 9875 руб/м<sup>2</sup>. Себестоимость растений в контроле была 108 руб/раст, при обработке препаратом завязь универсальная – 99 руб/раст. Уровень рентабельности от выращивания пеларгонии зональной увеличился от 66% в контроле до 82% при обработке препаратом «Завязь универсальная» (табл. 4).

Таблица 4. Экономическая эффективность применения препарата «Завязь универсальная» при выращивании пеларгонии зональной подгруппы «Стандарт», 2019 –2020 гг.

Table 4. Economic efficiency of the use of the «Ovary Universal» drug in the cultivation of Pelargonium zonale's subgroup Standard, 2019–2020

Показатели	Без обработки	Обработка препаратом «Завязь универсальная»
Выход растений, шт./м <sup>2</sup>	100	100
Цена реализации, руб. /шт.	180	180
Выручка от реализации, руб./ м <sup>2</sup>	18 000	18 000
Количество дней выращивания, дни	155	125-130
Стоимость 1 дня, руб./ раст.	0,7	0,7
В т.ч. дополнительные затраты на исследуемые приемы, руб./ раст.	-----	0,09
Затраты на выращивание, руб./м <sup>2</sup>	10 850	9 875
Себестоимость рассады, руб./шт.	108	99
Прибыль, руб./м <sup>2</sup>	7 150	8 125
Уровень рентабельности, %	66	82

Важное значение имеет правильный выбор сроков проведения обработок рассады пеларгонии зональной. Установлено, что оптимальным сроком первой обработки является момент, когда на рассаде уже есть 6–8 листьев и начинают закладываться цветочные почки. Хочется отметить, что при установлении срока первой обработки препаратом «Завязь универсальная» в первую очередь следует учитывать состояние рассады. В опытах 2020 г. часть растений проходила укоренение в неблагоприятных условиях, опрыскивание препаратом в оптимальные сроки сильно снизило образование цветоносов, а перенесение сроков обработки на более поздний период резко повысило эффективность стимулятора. Это можно связать с тем, что из-за недостаточного развития корневой системы у растений произошло резкое торможение прироста ассимиляционного аппарата. Важно отметить, что обработка препаратом «Завязь универсальная» с последующей пересадкой пеларгонии зональной не рекомендована, т. к. у обработанных растений наблюдается дисбаланс между нарушенной при пересадке корневой системой и наземной частью, он выражен более резко вследствие увеличения ассимиляционного аппарата, это препятствует своевременной закладке цветоносов, приводит к вытягиванию растения. Обработка препаратом «Завязь универсальная» цветущих растений пеларгонии зональной ведет к массовому завязыванию «клювиков», что значительно сокращает период цветения первого цветка в соцветии и увеличивает количество завязавшихся семян. Этот факт весьма интересен, его можно активно использовать в семеноводстве и гибридизации пеларгонии зональной. Хочется отметить, что семяобразование увеличивается на тех соцветиях, которые были на растении в момент обработки препаратом. Подобный эффект был отмечен на всех изучаемых сортах.

**Выводы.** Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о перспективности применения препарата «Завязь универсальная» при выращивании товарных саженцев пеларгонии зональной в условиях Северо-Запада и рекомендовать препарат для использования производству. Включение в систему агротехнических мероприятий обработки пеларгонии зональной препаратом «Завязь универсальная» окажет стимулирующее действие на выращиваемую рассаду, в частности, на габитус растения, позволит повысить ростовую активность, производить раннюю закладку цветоносов, а также повысить рентабельность производства.

#### Список источников литературы

1. Rademacher, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production // Journal of plant growth regulation. – 2015. – Vol. 34. – Pp. 845–872.
2. Small, C.C., Degenhardt, D. Plant growth regulators for enhancing revegetation success in reclamation: a review // Ecological engineering. – 2018. – Vol. 118. – Pp. 43–51.
3. Proietti, S. et al. Flowering mechanisms and environmental stimuli for flower transition: Bases for production scheduling in greenhouse floriculture // Plants. – 2022. – Vol. 11, no. 3. – 432 p.
4. Шкарупа, М. В. Эффективность регулятора роста на основе гиббереллиновой кислоты на сое в условиях центральной зоны Краснодарского края // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур. – 2021. – С. 266–269.
5. Бехтенко, Е.Ю. Курапов, П.Б. Регуляция роста и развития растений: учебное пособие. – Вологда: ВГПУ, 2014. – 192 с.
6. Серегина, И.И. и др. Защитно-стимулирующая роль микроэлементов и регуляторов роста в растениеводстве. – М.: Проспект, 2021. – 184 с.
7. Усова, К.А., Белопухов, С.Л. Эффективность регуляторов роста растений для цветочно-декоративных культур в условиях Вологодской области // Доклады ТСХА: материалы международной научной конференции. – 2017. – С. 360–362.



8. Миронова, Л.Н., Реут, А.А., Юлбарисова, Р.Р. Повышение продуктивности представителей рода хоста в результате обработки регуляторами роста // Вестник Башкирского университета. – 2013. – Т. 18. – № 3. – С. 748–749.
9. Андросова, А.В., Павловская, Н.Е. Оценка участия препаратов Завязь и Нигор в продукционном процессе земляники садовой // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2022. – Т. 9, № 1. – С. 18–22.
10. Современные регуляторы роста растений для получения высоких урожаев овощей // Вестник овощевода. – 2009. – № 3. – С. 55.
11. Дружкин, А.Ф., Ляшенко, З.Д., Панина, М.А. Основы научных исследований в агрономии. Часть 2. Биометрия. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2009. – 70 с.

#### References

1. Rademacher W. (2015), "Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production", *Journal of plant growth regulation*, vol. 34, pp. 845-872.
2. Small C.C., Degenhardt D. (2018), "Plant growth regulators for enhancing revegetation success in reclamation: a review", *Ecological engineering*, vol. 118, pp. 43-51.
3. Proietti S. et al. (2022), "Flowering mechanisms and environmental stimuli for flower transition: Bases for production scheduling in greenhouse floriculture", *Plants*, vol. 11, no. 3, 432 p.
4. Shkarupa M.V. (2021), "Efficiency of a growth regulator based on gibberellic acid in the conditions of the central zone of the Krasnodar Region", *Aktual'nye voprosy biologii, selekcii, tekhnologii vozdeleyvaniya i pererabotki sel'skohozyajstvennykh kul'tur*, pp. 266-269.
5. Bekhtenko E.Y. Kurapov P.B. (2014), *Regulyaciya rosta i razvitiya rastenij: uchebnoe posobie. [Regulation of plant growth and development: textbook]*, Vologda: VGPU, 192 p.
6. Seregina I. I. et al. (2021), *Zashchitno-stimuliruyushchaya rol' mikroelementov i regulyatorov rosta v rasteniievodstve [Protective and stimulating role of microelements and growth regulators in crop production]*, M.: Prospekt, 184 p.
7. Usova K. A., Belopuhov S. L. (2017), "Efficiency of plant growth regulators for flower and ornamental crops in the conditions of the Vologda Region", *Doklady TSKHA. Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*, pp. 360–362.
8. Mironova L. N., Reut A.A., Yulbarisova R.R. (2013), "Increased productivity of representatives of the host genus as a result of treatment with growth regulators", *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. Vol. 18, no. 3, pp. 748-749.
9. Androsova A. V., Pavlovskaya N. E. (2022), "Assessment of the participation of drugs Ovary and Nigor in the production process of garden strawberries", *Selekciya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*, vol. 9, no. 1, pp. 18-22.
10. Modern plant growth regulators for high vegetable yields, *Vestnik ovoshchevoda*, 2009, no. 3, p. 55.
11. Druzhkin A. F., Lyashenko Z. D., Panina M. A. (2009), *Osnovy nauchnykh issledovanij v agronomii. Chast' 2. Biometriya [Fundamentals of scientific research in agronomy. Part 2. Biometrics]*, ed. Saratov: Saratovskij GAU, 70 p.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

#### Сведения об авторах

**Самбулова Юлия Михайловна**, агроном, Федеральное государственное бюджетное учреждение Управление делами Президента РФ «Дом ветеранов сцены им. М.Г. Савиной», г. Санкт-Петербург; ассистент кафедры плодоовощеводства и декоративного садоводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Санкт-Петербург, <https://orcid.org/0000-0002-4315-5008>, SPIN-код: 8555-9172; e-mail: konstanta-1@yandex.ru.

**Осипова Галина Степановна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры Плодоовощеводства и декоративного садоводства, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <https://orcid.org/0000-0002-5433-4482>, SPIN-код: 3655-6388, Scopus ID: 5722309033; e-mail: prof.osipova@mail.ru.

#### Information about the authors

**Yulia M. Samburova**, agronomist, Federal State Budgetary Institution Management of the President of the Russian Federation “House of Stage Veterans named after M.G. Savina”, St. Petersburg; Assistant at the Department of Horticulture and Ornamental Horticulture, Federal State Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State Agrarian University”, St. Petersburg, Pushkin, <https://orcid.org/0000-0002-4315-5008>, SPIN-code: 8555-9172; e-mail: konstanta-1@yandex.ru.

**Osipova G. Stepanovna**, Doc. Sci. (Agric.), Professor of the Department of Horticulture and Ornamental Horticulture, Federal State Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State Agrarian University”, SPIN-code: 3655-6388; Scopus ID: 5722309033; e-mail: prof.osipova@mail.ru.

*Статья поступила в редакцию 28.09.2023; одобрена после рецензирования 13.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 28.09.2023; approved after reviewing 13.11.2023; accepted for publication 20.11.2023*

#### Научная статья

УДК 631.416.8

Код ВАК 4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-33-45

### ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ КАДМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ РАСТЕНИЯМИ

**М.А. Ефремова<sup>1</sup> ✉, И.В. Ельшаева<sup>1</sup>, А.С. Пинаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,

г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ marina\_efremova@mail.ru

**Реферат.** Для определения влияния органического вещества на подвижность кадмия в системе почва-растение были заложены вегетационный и полевой опыты. В задачи вегетационного опыта входило установление зависимости содержания кадмия в растениях люцерны изменчивой (*Medicago varia* L.) от количества органического вещества в почвенной смеси, загрязненной тяжелым металлом. Для создания смеси использовали дерново-подзолистую и торфяную низинную почвы, доля которых изменялась в восьми вариантах. Люцерна произрастала в сосудах емкостью 5 л и была убрана в период цветения. В полевом мелкоделяночном опыте изучалось влияние навоза и компоста на основе осадка сточных вод на накопление кадмия вико-овсяной смесью (*Vicia sativa* L., *Avena sativa* L.) из дерново-подзолистой почвы. Компост, приготовленный из осадка сточных вод, золы каменного угля и кислого верхового торфа, применялся в двух вариантах: самостоятельно и на фоне внесения минеральных удобрений. Аналогично был использован навоз. Увеличение содержания органического вещества в почве при внесении низинного торфа и навоза способствовало накоплению кадмия в сельскохозяйственных культурах. Между содержанием тяжелого

металла в растениях и ёмкостью катионного обмена почвы найдена существенная положительная корреляционная связь. В вегетационном опыте в условиях повышения доли торфа в почвенном субстрате концентрация кадмия в люцерне возрастала в 2 раза при увеличении ЕКО субстрата на 239 ммоль(экв)/100 г почвы. Использование компоста на основе осадка сточных вод в полевом опыте способствовало снижению содержания тяжелого металла в зеленой массе однолетних трав в 1,4–3,5 раза, что, по-видимому, связано с присутствием в составе компоста золы каменного угля и специфической сорбцией кадмия на его поверхности.

**Ключевые слова:** органическое вещество почвы, ёмкость обменного поглощения, кадмий, люцерна, вико-овсяная смесь, осадки сточных вод

**Цитирование.** Ефремова М.А., Ельшаева И.В., Пинаева А.С. Влияние органического вещества почвы на накопление кадмия сельскохозяйственными растениями // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). С. 33–45, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-33-45.

## INFLUENCE OF SOIL ORGANIC MATTER ON THE ACCUMULATION OF CADMIUM BY AGRICULTURAL PLANTS

Marina Anatolievna Efremova<sup>1</sup> ✉, Irina Vladimirovna Elshaeva<sup>1</sup>  
Anna Sergeevna Pinaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin, St. Peterburg, Russia

✉ marina\_efremova@mail.ru

**Abstract.** To determine the influence of organic matter on cadmium mobility in the soil-plant system, vegetation and field experiments were conducted. The objectives of the vegetation experiment were to determine the dependence of cadmium content in alfalfa variegated (*Medicago varia* L.) plants on the amount of organic matter in the soil mixture contaminated with heavy metal. Sod-podzolic and peat lowland soils were used to create the mixture, the proportion of which varied in eight variants. Alfalfa grew in 5-litre vessels and was harvested during the flowering period. The effect of manure and compost based on sewage sludge on cadmium accumulation by vetch-oat mixture (*Vicia sativa* L., *Avena sativa* L.) from sod-podzolic soil was studied in a field small-scale experiment. Compost prepared from sewage sludge, coal ash and acidic peat was used in two variants: independently and against the background of mineral fertiliser application. Manure was similarly used. Increase in the content of organic matter in the soil with the application of lowland peat and manure contributed to the accumulation of cadmium in crops. A significant positive correlation was found between the content of heavy metal in plants and cation exchange capacity of soil. In the vegetation experiment under the conditions of increasing the share of peat in the soil substrate, the concentration of cadmium in alfalfa increased 2-fold with an increase in the substrate CEC by 239 mmol(eq)/100 g of soil. The use of compost based on sewage sludge in the field experiment contributed to the reduction of heavy metal content in the green mass of annual grasses by 1.4-3.5 times, which is apparently due to the presence of coal ash in the compost and specific sorption of cadmium on its surface.

**Keywords:** soil organic matter, capacity of soil cation exchange, cadmium, alfalfa, annual grasses, sewage sludge

**Citation.** Efremova M.A., Elshaeva I.V., Pinaeva A.S. (2023), "Influence of soil organic matter on the accumulation of cadmium by agricultural plants", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol.73, no 4 , pp. 33–45 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-33-45.

**Введение.** Получение чистой растениеводческой продукции может быть связано с рядом трудностей, обусловленных загрязнением почвы тяжелыми металлами. Подвижность металлов в системе почва-растение зависит от их физических и химических свойств, генетических особенностей растений, физико-химических свойств почвы, климатических характеристик исследуемой территории. Наиболее подвижен в системе почва-растение кадмий. Период полуудаления этого металла из почвы значительно короче, чем других металлов первого класса токсичности, и составляет 13-110 лет [1], что объясняется низкой прочностью связи кадмия с почвенно-поглощающим комплексом. Коэффициент диффузии Cd в почве на порядок больше, чем аналогичные показатели Cu и Zn [2].

Кадмий является одним из наиболее токсичных тяжелых металлов [3, 4], его среднее содержание в почвах мира составляет 0,41 мг/кг, фоновое содержание металла в дерново-подзолистых почвах Ленинградской области находится на уровне 0,12 мг/кг [5, 6]. По литературным данным [7, 8, 9], в минеральных почвах доля подвижных соединений кадмия, выделенных ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН 4,8), может достигать 10–18%, в органогенных – 30–35%.

В агроценозах валовое содержание этого элемента в почве может возрастать под влиянием промышленного атмосферного загрязнения, выбросов двигателей внутреннего сгорания, применения минеральных и органических удобрений, включающих примеси металла [10, 11, 12, 13]. В загрязненных почвах возрастает доля подвижной формы кадмия, которая включает некоторое количество металла, связанного ионообменно с почвенно-поглощающим комплексом, а также находящегося в составе легкорастворимых солей или подвижных органо-минеральных комплексов. В результате краткосрочных вегетационных опытов было установлено, что в легких почвах, свежезагрязненных этим токсикантом, содержание подвижной формы может достигать 81–97% от его валового содержания (Л.Г. Суслина, Л.Н. Анисимова, С.В. Круглов и др., 2006).

Известно, что сорбция кадмия почвой положительно коррелирует с катионообменной емкостью почвы, содержанием в почве наиболее мелкодисперсных фракций (илистой и коллоидной). Степень закрепления элемента почвой уменьшается при снижении её кислотности и увеличении концентрации карбоната кальция [14].

Интересно неоднозначное влияние органического вещества на подвижность кадмия в системе почва-растение [15; 16; 17, 18]. С одной стороны, увеличение органической компоненты почвы сопровождается возрастанием емкости её ионообменного комплекса, увеличением количества сорбционных позиций на твердой фазе почвы, что должно приводить к некоторому снижению накопления катиона растениями. Однако согласно литературным данным, кадмий не теряет своей подвижности, в этих условиях он формирует комплексные соединения с органическим веществом, способные легко мигрировать по почвенному профилю, достигая поверхности корневой системы растений на разной глубине её залегания.

**Цель исследований** состояла в определении роли органического вещества в процессе накопления кадмия растениями, для чего в 2021 г. были заложены вегетационный и полевой опыты. В задачи вегетационного опыта входило выявление зависимости содержания этого металла в бобовой культуре от доли органического вещества в почвенной смеси. В полевом

опыте было определено влияние навоза и компоста на основе осадка сточных вод на накопление кадмия однолетними травами при их выращивании на дерново-подзолистой почве.

**Материалы, методы и объекты исследования.** В вегетационном опыте выращивали люцерну изменчивую (*Medicago varia* L.) на почвенном субстрате, приготовленном из дерново-подзолистой и торфяной низинной почв. Схема опыта: 1) П<sup>д</sup> (100%); 2) П<sup>д</sup> (90%) + Т (10%); 3) П<sup>д</sup> (80%) + Т (20%); 4) П<sup>д</sup> (70%) + Т (30%); 5) П<sup>д</sup> (60%) + Т (40%); 6) П<sup>д</sup> (50%) + Т (50%); 7) П<sup>д</sup> (40%) + Т (60%); 8) Т (100%), где П<sup>д</sup> – дерново-подзолистая почва, Т – торфяная низинная почва.

Дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая почва на остаточной карбонатной морене характеризовалась средним содержанием органического вещества ( $C_{\text{орг}} = 3,3\%$ ), высоким содержанием подвижного фосфора (154,5 мг  $P_2O_5$ /кг) и низким содержанием подвижного калия (51,5 мг  $K_2O$ /кг). Реакция почвенной среды – близкая к нейтральной ( $pH_{\text{KCl}} 6,55$ ). Емкость катионного обмена этой почвы составляла 46 ммоль(экв)/100 г, что в 5,4 раза меньше емкости торфяной низинной почвы. В свою очередь, органогенная почва обладала высокой зольностью (12,5%), более высокой кислотностью среды ( $pH_{\text{KCl}} 6,2$ ), средним содержанием подвижных форм калия (290,5 мг  $K_2O$ /кг) и фосфора (267,0 мг  $P_2O_5$ /кг). Валовое содержание кадмия в обеих почвах было сравнимо, оно составляло 0,121 и 0,133 мг/кг в дерново-подзолистой и торфяной почвах соответственно.

В качестве фона в почвенный субстрат вносили азофоску из расчёта 0,1 г каждого питательного макроэлемента (NPK) на 1 кг почвы, а также кадмий в составе раствора ацетата кадмия в дозе 1 мг Cd/кг почвы, что соответствует половине ориентировочно допустимой концентрации кадмия в почве с  $pH_{\text{KCl}} > 5,5$ . Люцерну изменчивую сорта Луговая 67 выращивали в сосудах Кирсанова емкостью 5 л, она была срезана в период цветения. Опыт проведен в трёхкратной повторности.

Для изучения влияния органических удобрений на накопление кадмия растениями был заложен мелкоделяночный полевой опыт в учебном саду Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Схема опыта состояла из 7 вариантов: 1) контроль без удобрений; 2) навоз – 20 т/га, 3) компост ОСВ – 20 т/га, 4) навоз – 20 т/га +  $N_{30}P_{30}K_{30}$ , 5) компост ОСВ – 20 т/га +  $N_{30}P_{30}K_{30}$ , 6) навоз – 40 т/га, 7) компост ОСВ – 40 т/га. Площадь делянки 5,06 м<sup>2</sup> (2,25 м × 2,25 м). В первый год опыта выращивали вико-овсяную смесь (*Vicia sativa* L., *Avena sativa* L.). Повторность опыта трехкратная.

В качестве минеральных удобрений применялись аммиачная селитра, калимагnezия ( $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ ) и суперфосфат простой ( $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + CaSO_4$ ). Исследуемые органические удобрения: навоз крупного рогатого скота (полуперепревший подстилочный навоз, в котором в результате микробиологических процессов подстилка и кормовые остатки приобретают тёмно-коричневый цвет, теряют прочность и легко разрываются), компост из осадка сточных вод в смеси с золой. Компост из ОСВ приготовлен по следующей технологии: осадки сточных вод смешивали с золой, образовавшейся при сжигании каменного угля, в соотношении 1:0,3. Полученная смесь характеризовалась щелочной средой, показатель pH в начале её приготовления достигал 13. Для нормализации кислотности смесь компостируют с кислым верховым торфом (pH 3,2) в соотношении торф: ОСВ с золой – 1: 0,25. Компост перед внесением в почву выдерживали в течение двух недель. В результате компостирования кислотность была отмечена на уровне pH 6,8. Согласно литературным данным [16], ОСВ могут

содержать органические и неорганические токсиканты, однако содержание тяжелых металлов в полученном компосте не превышало нормативов, установленных ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001.

Полевой опыт был заложен на дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой глеевой на моренном суглинке почве, агрохимическая характеристика которой следующая: содержание органического вещества среднее ( $C_{орг} = 3,6\%$ ), реакция среды слабокислая ( $pH_{KCl} 5,29$ ), сумма поглощенных оснований  $20,9$  ммоль(экв)/100 г почвы, очень высокое содержание подвижного фосфора и калия ( $339$  мг  $P_2O_5$ /кг,  $440$  мг  $K_2O$ /кг).

После уборки урожая в полевом и вегетационном опытах содержание кадмия в растениях, подвижная форма элемента в почве, а также его валовое содержание определялись атомно-абсорбционным методом. Подвижная форма металла в почве была определена в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера с  $pH 4,8$ , почва и буфер смешивались в соотношении 1:10. Для определения валового содержания кадмия почва подвергалась обработке  $5$  М азотной кислотой (соотношение почва–кислота – 1:5) при трехчасовом кипячении. Подготовка растений к химическому анализу заключалась в их мокром озолении смесью концентрированных серной и хлорной кислот (соотношение 5:1). Агрохимические показатели почв были определены по методикам ГОСТ, ёмкость катионного обмена почвы в вегетационном опыте – по методу Бобко-Аскинази, в полевом опыте – методом суммирования показателей гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований.

**Результаты исследования.** После уборки люцерны были определены обменная кислотность почвенного субстрата, ёмкость катионного обмена (ЕКО) его твердой фазы, сумма поглощенных оснований во всех вариантах опыта (рис. 1). Увеличение доли органического вещества способствовало снижению показателя  $pH_{KCl}$  ( $R = -0,832$ ), возрастанию ёмкости катионного обмена ( $R = 0,974$ ) и суммы поглощенных оснований ( $R = 0,926$ ). Таким образом, низинный торф, добавляемый в дерново-подзолистую почву, обогащал полученный субстрат обменными основаниями.

Увеличение доли низинного торфа в субстрате привело к возрастанию накопления кадмия в растениях ( $R = 0,817$ ), по-видимому, за счет возрастания его подвижности в почве. Содержание элемента в растениях, выращенных на дерново-подзолистой почве, оказалось в  $2,8$  раза ниже того же показателя на торфяной низинной почве (рис. 2). В целом по опыту содержание Cd в растениях люцерны высокое, что может быть объяснено коротким сроком пребывания химического элемента в загрязненной почве.

Корреляционный анализ данных показал тесную прямолинейную связь содержания Cd в люцерне с ёмкостью катионного обмена почвенного субстрата ( $R = 0,766$ ), а также с суммой поглощенных оснований ( $R = 0,706$ ). Однако во втором случае связь не существенна. В литературе имеются сведения о том, что прочная сорбция кадмия на органических кислотах возможна только при высокой кислотности среды [19, 20]. Повышение подвижности кадмия в системе почва–растение при увеличении доли торфа в почвенном субстрате, по-видимому, связано со слабой ионообменной сорбцией катиона на органическом веществе, вытеснением кадмия с обменных позиций катионами  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ .

Можно предположить образование растворимых комплексных соединений кадмия с молекулами органического вещества, активно мигрирующих в системе почвенный раствор–корень растения. Подтверждением этому могут быть данные, полученные в исследованиях по химическому синтезу органических координационных соединений цинка и кадмия [20]: размерность полимера уменьшается от слоистой к цепочечной с увеличением ионного радиуса d-металла при переходе от цинка к кадмию.

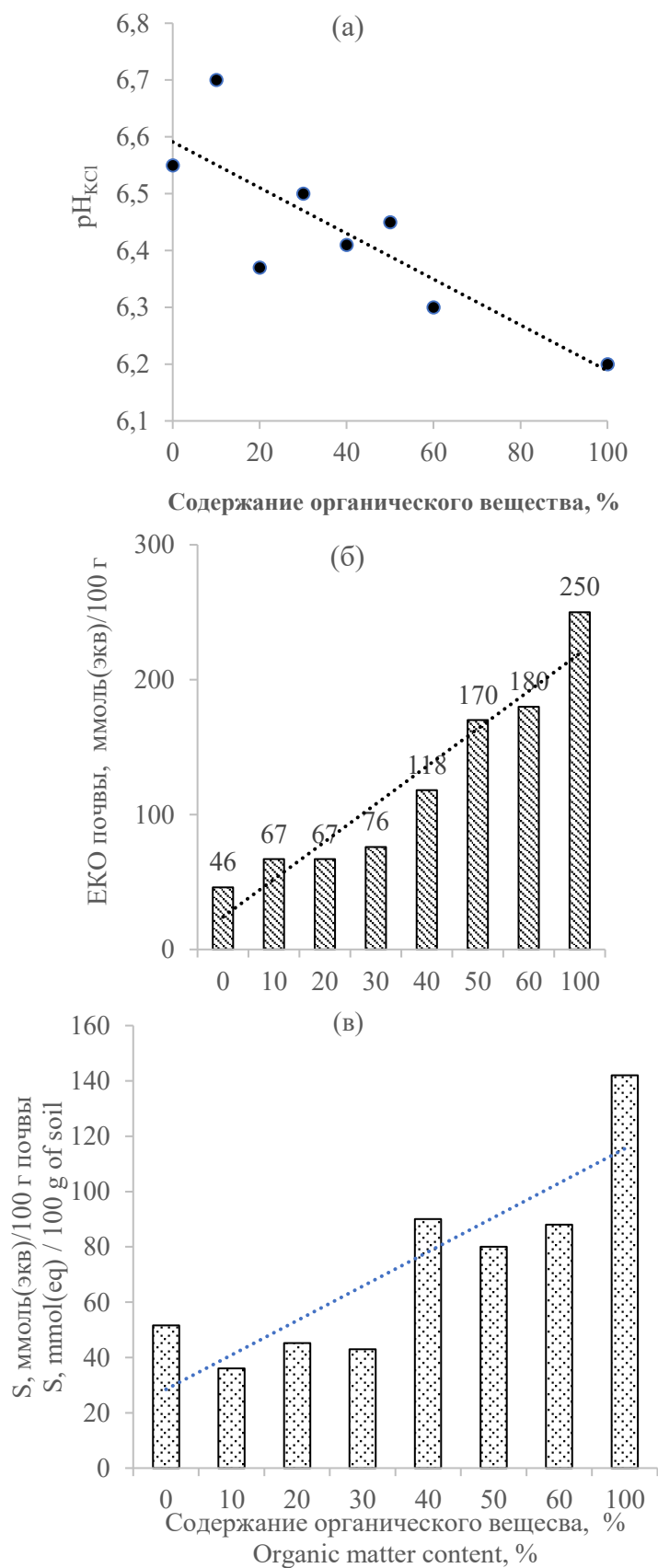


Рисунок 1. Зависимость  $pH_{KCl}$  (а), ёмкости катионного обмена (б) и суммы поглощенных оснований (в) от содержания в почвенном субстрате органического вещества  
 Figure 1. Dependence of  $pH_{KCl}$  (a), the capacity of cation exchange (б) and the sum of absorbed bases (в) on the content of organic matter in the soil

Применение экспоненциальной функции для описания зависимости между содержанием кадмия в растениях и емкостью катионного обмена почвенного субстрата позволило рассчитать величину ЕКО, способствующую увеличению содержания кадмия в люцерне в 2 раза (рис. 2). Она составила 239 ммоль(экв)/100 г почвы.

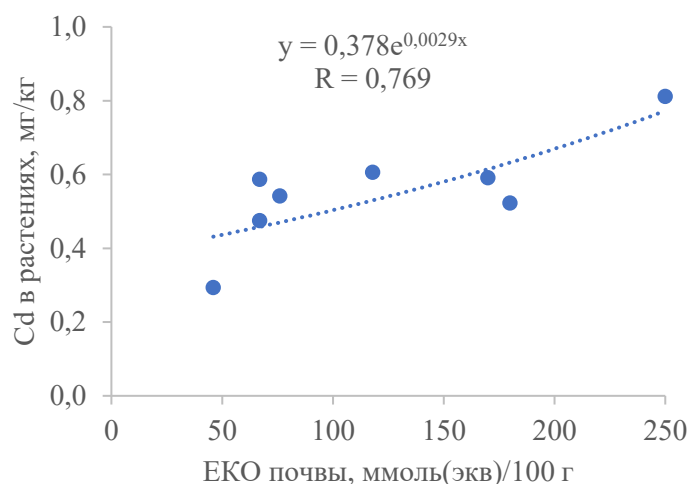


Рисунок 2. Зависимость содержания Cd в растениях от емкости катионного обмена почвенного субстрата

Figure 2. Dependence of Cd content in plants on the capacity of cation exchange of the soil

Существенного влияния обменной кислотности ( $pH_{KCl}$ ) субстрата на накопление токсиканта люцерной не обнаружено,  $R = -0,474$ .

В полевом опыте после уборки урожая однолетних трав на всех делянках были отобраны почвенные образцы для определения агрохимических показателей почвы (табл. 1).

Показатель ЕКО почвы в контрольном варианте полевого опыта почти в 5 раз ниже, чем в контрольном варианте вегетационного опыта, что можно объяснить не только различиями в методике определения ЕКО почвы, но и неоднородностью физико-химических характеристик двух дерново-подзолистых почв. Так, почва вегетационного опыта, сформированная на остаточной карбонатной морене, имела нейтральную среду, а почва полевого опыта на моренном суглинке была слабокислой, что предполагает неодинаковое участие в обменной сорбции катионов содержащегося в этих почвах органического вещества. Другой причиной указанных выше различий может быть минералогический состав твердой фазы почв.

В связи с высокой степенью варьирования исходных данных можно утверждать, что ЕКО почвы полевого опыта слабо изменилась после внесения органических удобрений. По результатам статистической обработки не найдено достоверных различий по вариантам между показателями содержания органического вещества, обменной и гидролитической кислотности почвы, суммы поглощенных оснований (табл. 1). Применение компоста совместно с минеральными удобрениями и без них способствовало достоверному увеличению содержания подвижного фосфора в почве. Количество подвижного калия в почве существенно снижалось при внесении органических удобрений в дозе 40 т/га, причиной этого могло быть появление дополнительного числа обменных позиций на твердой фазе почвы и формирование слабых, но многочисленных ионообменных связей калия с карбоксильными (и иными) группами органического вещества.



Таблица 1. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой почвы после уборки урожая однолетних трав (2021)

Table 1. Agrochemical characteristics of sod-podzolic soil after harvesting annual grasses

Варианты	C <sub>орг</sub> , %	pH <sub>KCl</sub>	Нг	S	ЕКО	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
						подвижная форма, мг/кг	
			ммоль(экв)/100 г				
1. Контроль	4,73 ±1,42	5,22 ±0,26	2,43 ±0,09	6,80 ±0,92	9,23	375,0 ±36,0	510,5 ±69,1
2. Навоз 20 т/га	6,62 ±0,29	5,30 ±0,26	2,83 ±0,23	7,07 ±2,02	9,9	400,0 ±33,9	529,5 ±50,3
3. Компост ОСВ 20 т/га	6,62 ±0,69	5,30 ±0,28	2,74 ±0,54	6,87 ±1,81	9,61	575,0 ±42,4	457,8 ±60,2
4. Навоз 20 т/га + N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	6,65 ±1,37	5,50 ±0,48	2,58± 0,47	6,60± 2,51	9,18	832,5 ±22,6	561,5 ±50,1
5. Компост ОСВ 20 т/га + N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	6,86 ±0,37	5,18 ±0,32	2,76 ±0,38	4,53 ±3,24	7,29	757,5 ±21,2	541,0 ±50,0
6. Навоз 40 т/га	6,89 ±0,79	4,93 ±0,08	2,75 ±0,59	5,20 ±0,87	7,95	580,0 ±51,4	337,6 ±29,3
7. Компост ОСВ 40 т/га	6,42 ±0,77	5,02 ±0,06	2,73 ±0,63	4,93 ±0,83	7,66	592,5 ±36,7	413,6 ±65,9
R (с подвижным Cd в почве)	-0,189	-0,280	-0,134	-0,155	-0,178	-0,218	-0,092
R (с содержанием Cd в растениях)	-0,286	-0,474	-0,307	0,866	0,855	-0,354	0,400

Валовое содержание кадмия в почве заметно повышалось при внесении навоза (табл. 2), который может являться причиной искусственного загрязнения почв тяжелыми металлами [21, 22]. Доля подвижного кадмия варьировала в пределах 46–64% от валового его содержания. Корреляционный анализ не показал выраженной связи содержания подвижного кадмия в почве с ее исследуемыми агрохимическими показателями.

Содержание кадмия в однолетних травах не повышено и соответствует нормальным фоновым значениям, отмеченным в литературе, 0,05–0,2 мг/кг [23]. Концентрация экотоксиканта в зеленой массе вико-овсяной смеси оказалась существенно выше в варианте с внесением навоза в дозе 20 т/га, чем в контроле, однако при внесении навоза в двойной дозе наблюдалось снижение накопления кадмия растениями (табл. 2). Использование компоста на основе ОСВ во всех вариантах способствовало снижению концентрации тяжелого металла в однолетних травах в 1,4–3,5 раза. Наиболее эффективно вносить компост в дозе 40 т/га или в дозе 20 т/га в сочетании с минеральными удобрениями. Вероятно, кадмий прочно сорбировался добавленной в компост золой с образованием минеральных комплексных соединений или труднорастворимых солей, например, фосфатов кадмия.

Таблица 2. Содержание кадмия в почве и растениях, мг/кг  
 Table 2. Cadmium content in the soil and plants, mg/kg

Варианты	Почва		Вико-овсяная смесь
	Валовое содержание	Подвижная форма	
1. Контроль	0,094±0,006	0,055±0,003	0,077±0,013
2. Навоз 20 т/га	0,098±0,005	0,057±0,002	0,095±0,014
3. Компост ОСВ 20 т/га	0,075±0,005	0,039±0,001	0,053±0,003
4. Навоз 20 т/га + N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	0,085±0,004	0,054±0,004	0,086±0,005
5. Компост ОСВ 20 т/га + N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	0,086±0,003	0,049±0,003	0,022±0,003
6. Навоз 40 т/га	0,121±0,001	0,056±0,003	0,053±0,003
7. Компост ОСВ 40 т/га	0,090±0,005	0,057±0,002	0,024±0,001
R (с содержанием Cd в растениях)	0,114	0,247	-
HCP <sub>05</sub>	-	-	0,0135

Между содержанием экотоксиканта в почве и растениях корреляционная зависимость слабая. Тесная существенная положительная корреляционная связь обнаружена между содержанием кадмия в растениях, с одной стороны, и содержанием поглощенных оснований в почве и ёмкостью её катионного обмена, с другой стороны (табл. 1), что сопоставимо с данными, полученными в вегетационном опыте.

**Выводы.** Увеличение содержания органического вещества в почве при внесении низинного торфа и навоза способствовало накоплению кадмия в сельскохозяйственных культурах. Между содержанием этого элемента в растениях и ёмкостью катионного обмена почвы найдена существенная положительная корреляционная связь. В вегетационном опыте в условиях повышения доли торфа в почвенном субстрате концентрация кадмия в люцерне возрастала в 2 раза при увеличении ЕКО субстрата на 239 ммоль(экв)/100 г почвы.

Использование компоста на основе осадка сточных вод в полевом опыте способствовало снижению содержания тяжелого металла в зеленой массе вико-овсяной смеси в 1,4–3,5 раза, что, по-видимому, связано с присутствием в составе компоста золы каменного угля и специфической сорбцией кадмия на его поверхности.

#### Список источников литературы

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
2. Фрид, А. С. Миграция меди, цинка и кадмия в аридных почвах Египта, орошаемых природными и городскими сточными водами / А. С. Фрид, М. А. Гома Ботхина Саад, Т. И. Борисочкина // Агрохимия. – 2014. – № 11. – С. 62–73.
3. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies / F. U. Haider, C. Liqun, J. A. Coulter [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2021. – V. 211, 111887. ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>.
4. A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium in vegetables / M. Rizwan, Sh. Ali, M. Adrees [et al.]. // *Chemosphere*. – 2017. – V. 182. – P. 90–105. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.013>.

5. Акатова, А. А. Распределение никеля, меди и кадмия в дерново-подзолистых и подзолистых почвах северо-востока Лужской возвышенности / А. А. Акатова, М. А. Ефремова, Т. В. Родичева // *Агрофизика*. – 2021. – № 2. – С. 1–9. – DOI 10.25695.
6. Селюкова, С. В. Тяжелые металлы в агроценозах / С. В. Селюкова // *Достижения науки и техники АПК*. – 2020. – Т. 34. – № 8. – С. 85–93. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10815/
7. Сладкова, Н. А. Распределение цинка и кадмия в системе торфяная почва – растение под влиянием фосфорных и калийных удобрений : специальность 06.01.03 «Агрофизика» : автореф. дисс. ... канд. биолог. наук / Сладкова Надежда Анатольевна. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2016. – 22 с.
8. Влияние влажности почвы на содержание кадмия, свинца и урана в подвижных формах / Г. А. Соколик, С. В. Овсянникова, М. В. Попеня, Е. В. Войникова // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук*. – 2018. – Т. 54. – № 3. – С. 338–348. – DOI 10.29235/1561-8331-2018-54-3-338-348.
9. Морозова, Т. С. Оценка накопления кадмия озимой пшеницей / Т. С. Морозова, С. Д. Лицуков // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. – 2019. – № 2(22). – С. 173–181.
10. Стримжа, Т. П. Техногенная биохимическая провинция кадмия на территории Красноярска и его окрестностей / Т. П. Стримжа, П. Н. Самородский // *Горный журнал*. – 2015. – № 1. – С. 72–79. – DOI 10.17580/gzh.2015.01.13.
11. Минералого-геохимические особенности и степень загрязнения почв в районе комбината по обогащению цинковой руды месторождения Шаабет-эль-Хамра (Алжир) / Р. Омара. – М. В. Чарыкова, А. В. Русаков [и др.] // *Записки Российского минералогического общества*. – 2020. – Т. 149. – № 2. – С. 96–110. – DOI 10.31857/S0869605520020057.
12. Фрид, А. С. Миграционная подвижность тяжелых металлов в сильнозагрязненных почвах в окрестностях комбината «Североникель» (Мурманская область) / А. С. Фрид, Т. И. Борисочкина // *Почвоведение*. – 2020. – № 9. – С. 1144–1154. – DOI: 10.31857/S0032180X20090051.
13. Кропова, Ю. Г. Влияние транспортно-дорожного комплекса на загрязнение почв и растений тяжелыми металлами / Ю. Г. Кропова, А. Н. Ховрин, И. В. Выродов // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 4(61). – С. 36–44. – DOI 10.31677/2072-6724-2021-61-4-36-44.
14. Леднев, А. В. Ремедиация загрязненных кадмием агродерново-подзолистых почв / А. В. Леднев, А. В. Ложкин // *Почвоведение*. – 2017. – № 5. – С. 624–633. – DOI 10.7868/80032180X17050094.
15. Кирдей, Т. А. Влияние гумусовых кислот низинного торфа на ремедиационные свойства растений пшеницы при комплексном загрязнении тяжелыми металлами / Т. А. Кирдей // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. – 2021. – Т. 11. – № 2(37). – С. 228–235. – DOI 10.21285/2227-2925-2021-11-2-228-235.
16. Lamastra, L. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer / L. Lamastra, N.A. Suci, M. Trevisan // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. – 2018. – Vol. 5 (1). – DOI: [10.1186/s40538-018-0122-3](https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3).
17. Sorption of heavy metals by humic acids of chestnut soils / A. N. Sabitova, B. B. Bayakhmetova, B. Kh. Mussabayeva [et al.] // *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*. – 2020. – No. 3(99). – P. 88–98. – DOI 10.31489/2020Ch3/88-98.
18. The influence of organic matter on limiting the bioavailability of heavy metals / A. Maciejewska, J. Kwiatkowska-Malina // *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019: Conference proceedings. SOILS; FOREST ECOSYSTEMS, Albena, 30 июня – 06 2019 года. Vol. 19. – Sophia: SGEM. – 2019. – Pp. 515–522. – DOI 10.5593/sgem2019/3.2/S13.067.*
19. Effects of root exudates on the activation and remediation of cadmium ion in contaminated soils/ Li, Z., Li, S., Deng, N., & Mei, P. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019 – 27(3) – Pp. 2926–2934, doi:10.1007/s11356-019-07263-8.
20. Влияние радиуса иона металла на строение комплексов SrII-ZnII и SrII-CdII с анионами циклобутан-1,1-дикарбоновой кислоты / Е. Н. Зорина-Тихонова, Н. В. Гоголева, А. С. Чистяков [и др.] // *Известия Академии наук. Серия химическая*. – 2023. – № 1. – С. 184–192.
21. Co-composting of sewage sludge and wetland plant material from a constructed wetland treating domestic wastewater / A. Kwarciak-Kozłowska. – *Industrial and Municipal Sludge*. – 2019. – Pp. 337–360. – DOI:10.1016/B978-0-12-815907-1.00015-5.

22. Лукин, С. В. Агрэколагічная ацэнка ўплыва арганічных ўдобраў на мікрээлементны склад пачв / С. В. Лукин, С. В. Селюкова // Дасягненні навукі і тэхнікі АПК. – 2016. – Т. 30, № 12. – С. 61–65.
23. Вліянне біопрэпаратаў на элементны хімічны склад газонных раслін у тэчэнне вегетацыйнага перыяда / А. Н. Лебедев, М. В. Хазов, О. М. Поцелуев [і др.] // Агрэхімія. – 2018. – № 2. – С. 79–87. – DOI 10.7868/S0002188118020072.

### References

1. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. Moscow: Mir, 1989. – 439 p. (In Russ.).
2. Fried, A. S. Migration of copper, zinc and cadmium in arid soils of Egypt irrigated by natural and urban wastewater / A. S. Fried, M. A. Goma Botkhina Saad, T. I. Borisochkina // *Agrochemistry*. – 2014. – No. 11, pp. 62-73. (In Russ.).
3. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies / F. U. Haider, C. Liqun, J. A. Coulter [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2021. – V. 211, 111887. ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>.
4. A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium in vegetables / M. Rizwan, Sh. Ali, M. Adrees [et al.] // *Chemosphere*. – 2017. – V. 182, pp. 90-105. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.013>.
5. Akatova, A. A. Distribution of nickel, copper and cadmium in sod-podzolic and podzolic soils of the north-east of the Luga upland / A. A. Akatova, M. A. Efremova, T. V. Rodicheva // *Agrophysics*. – 2021. – No. 2. – pp. 1-9. – DOI 10.25695. (In Russ.).
6. Selyukova, S. V. Heavy metals in agrocenoses / S. V. Selyukova // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. – 2020. – Vol. 34, No. 8, pp. 85-93. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10815. (In Russ.).
7. Sladkova, N. A. Distribution of zinc and cadmium in the peat soil – plant system under the influence of phosphorus and potash fertilizers : specialty 06.01.03 «Agrophysics» : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences / Sladkova Nadezhda Anatolyevna. – St. Petersburg-Pushkin, 2016. – 22 p. (In Russ.).
8. Influence of soil moisture on the content of cadmium, lead and uranium in mobile forms / G. A. Sokolik, S. V. Ovsyannikova, M. V. Popenya, E. V. Voynikova // *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Chemical Sciences*. – 2018. – vol. 54, No. 3, pp. 338-348. – DOI 10.29235/1561-8331-2018-54-3-338-348. (In Russ.).
9. Morozova, T. S. Assessment of cadmium accumulation by winter wheat / T. S. Morozova, S. D. Litsukov // *Innovations in agriculture: problems and prospects*. – 2019. – № 2(22), pp. 173-181. (In Russ.).
10. Strimzha, T. P. Technogenic biochemical province of cadmium on the territory of Krasnoyarsk and its environs / T. P. Strimzha, P. N. Samorodsky, Neustroeva // *Mining Journal*. – 2015. – No. 1, pp. 72-79. – DOI 10.17580/gzh.2015.01.13. (In Russ.).
11. Mineralogical and geochemical features and degree of soil contamination in the area of the zinc ore processing plant of the Shaabet-el-Hamra deposit (Algeria) / R. Omara, M. V. Charykova, A.V. Rusakov [et al.] // *Notes of the Russian Mineralogical Society*. – 2020. – Vol. 149, No. 2, pp. 96-110. – DOI 10.31857/S0869605520020057. (In Russ.).
12. Fried, A. S. Migration mobility of heavy metals in heavily polluted soils in the vicinity of the Severonikel plant (Murmansk Region) / A. S. Fried, T. I. Borisochkina // *Soil Science*. – 2020. – No. 9, pp. 1144-1154. – DOI 10.31857/S0032180X20090051. (In Russ.).
13. Kropova, Yu. G. The influence of the transport and road complex on soil and plant pollution with heavy metals / Yu. G. Kropova, A. N. Khovrin, I. V. Vyrodov // *Bulletin of the NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. – 2021. – № 4(61), pp. 36-44. – DOI 10.31677/2072-6724-2021-61-4-36-44. (In Russ.).
14. Lednev, A.V. Remediation of cadmium-contaminated agroderново-podzolic soils / A.V. Lednev, A.V. Lozhkin // *Soil science*. – 2017. – No. 5, pp. 624-633. – DOI 10.7868/80032180X17050094. (In Russ.).
15. Kirdey, T. A. The influence of humic acids of lowland peat on the remediation properties of wheat plants under complex contamination with heavy metals / T. A. Kirdey // *News of universities. Applied*

- chemistry and biotechnology*. – 2021. – Vol. 11, No. 2(37), pp. 228-235. – DOI 10.21285/2227-2925-2021-11-2-228-235. (In Russ.).
16. Lamastra, L. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer / L. Lamastra, N.A. Suci, M. Trevisan // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. – 2018. – Vol. 5 (1). – DOI: 10.1186/s40538-018-0122-3.
  17. Sorption of heavy metals by humic acids of chestnut soils / A. N. Sabitova, B. B. Bayakhmetova, B. Kh. Mussabayeva [et al.] // *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*. – 2020. – No. 3(99), pp. 88-98. – DOI 10.31489/2020Ch3/88-98.
  18. The influence of organic matter on limiting the bioavailability of heavy metals / A. Maciejewska, J. Kwiatkowska-Malina // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019: Conference proceedings. SOILS; FOREST ECOSYSTEMS, Albena, 30 June 2020. Vol. 19. – Sophia: SGEM. – 2019, pp. 515-522. – DOI 10.5593/sgem2019/3.2/S13.067.
  19. Effects of root exudates on the activation and remediation of cadmium ion in contaminated soils / Li, Z., Li, S., Deng, N., & Mei, P. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019 – 27(3), pp. 2926–2934 – doi: 10.1007/s11356-019-07263-8.
  20. The influence of the radius of a metal ion on the structure of SrII-ZnII and SrII-CdII complexes with cyclobutane-1,1-dicarboxylic acid anions / E. N. Zorina-Tikhonova, N. V. Gogoleva, A. S. Chistyakov [et al.] // *Izvestiya Akademii nauk. Chemical series*. – 2023. – No. 1, pp. 184-192.
  21. Co-composting of sewage sludge and wetland plant material from a constructed wetland treating domestic wastewater / A. Kwarciak-Kozłowska. – *Industrial and Municipal Sludge*. – 2019, pp. 337–360. – DOI:10.1016/B978-0-12-815907-1.00015-5.
  22. Lukin, S. V. Agroecological assessment of the effect of organic fertilizers on the microelement composition of soils / S. V. Lukin, S. V. Selyukova // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. – 2016. – Vol. 30, No. 12, pp. 61-65. (In Russ.).
  23. The influence of biological products on the elemental chemical composition of lawn plants during the growing season / A. N. Lebedev, M. V. Khazov, O. M. Potseluev [et al.] // *Agrochemistry*. – 2018. – No. 2, pp. 79-87. – DOI 10.7868/S0002188118020072. (In Russ.).

#### Сведения об авторах

**Марина Анатольевна Ефремова**, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и агрохимии Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0003-1428-2750>, SPIN-код: 5018-1583, Author ID:89623, Scopus author ID 6603265696; e-mail: marina\_efremova@mail.ru.

**Ирина Владимировна Ельшаева**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и агрохимии Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-3900-3044>, SPIN-код: 4904-7863, Scopus author ID: 57221476016; e-mail: elshaevaiv@mail.ru.

**Анна Сергеевна Пинаева**, аспирант кафедры почвоведения и агрохимии Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0001-6421-1999>, SPIN-код: 7230-1429, Scopus author ID: 57221461546, Researcher ID: AGA-8652-2022; e-mail: pinaeva95@inbox.ru.

#### Information about the authors

**Marina A. Efremova**, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0003-1428-2750>, SPIN-code: 5018-1583, Author: ID:89623, Scopus author ID: 6603265696; e-mail: marina\_efremova@mail.ru.

**Irina V. Elshaeva**, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-3900-3044>, SPIN-код: 4904-7863, Scopus author ID: 57221476016; e-mail: elshaevaiv@mail.ru.

**Anna S. Pinaeva**, postgraduate student of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0001-6421-1999>, SPIN-код: 7230-1429, Scopus author ID: 57221461546, Researcher ID: AGA-8652-2022; e-mail: pinaeva95@inbox.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 01.09.2023; одобрена после рецензирования 09.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 01.09.2023; approved after reviewing 09.11.2023; accepted for publication 09.11.2023.*

Научная статья

УДК 631.95; 631.615; 631.626.1; 631.6.03

Код ВАК 4.1.3.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-45-52

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОСУШАЕМОГО ТОРФОМАССИВА «ГАДОВСКОЕ» КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.А. Уланов<sup>1</sup>, А.Н. Уланов<sup>1</sup>, В.П. Царенко<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Кировская лугоболотная опытная станция – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», п. Юбилейный, Оричевский район, Кировская область, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ tsarenko.prof@yandex.ru

**Реферат.** Существует мнение, что осушение торфяных болот, дальнейшая их эксплуатация в торфодобывающей промышленности, последующее использование выработанных земель в лесном и сельскохозяйственном производстве приводят к загрязнению водной среды (водоприемников) продуктами разрушения торфа и остаточными агрохимикатами, применяемыми при выращивании кормовых культур. На примере типичного выработанного низинного торфомассива «Гадовское», находящемся в культуре более 100 лет, было установлено, что в условиях ограниченного применения удобрений и пестицидов экологическая нагрузка на окружающую водную среду от поступающих болотных вод незначительна. Отмечено лишь некоторое превышение нитратного и аммиачного фона в нижней части русла реки. Кроме того, приводится сравнительная гидрохимическая оценка дренажно-сбросных и подземных (артезианских) вод внутри самого торфомассива. В сезонной динамике максимальное количество водорастворимых фракций органического вещества и зольных элементов в дренажных водах приходится на позднюю осень, в артезианских – на весну или лето. Под кормовыми культурами минимальные потери с дренажными водами базовых формирующих урожай элементов (азота, фосфора, калия) отмечены в летний период. Наименьшая степень минерализации поверхностных вод отмечена на выработанных участках,

выведенных из активного землепользования. По мере пребывания торфяной почвы в сельскохозяйственной культуре увеличиваются потери органического вещества и большинства зольных элементов. Установлено, что в целом артезианские воды под осваиваемой торфяной залежью характеризуются более высокой жесткостью по сравнению с болотными поверхностными стоками. Более высоким содержанием в питьевой воде выделяются  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  и особенно  $\text{NO}_3^-$ .

**Ключевые слова:** осушенный низинный торфомассив, выработанные торфяные почвы, поверхностные дренажные воды, кормовые культуры, агроландшафт, питьевая вода, артезианские скважины, речной сток, гидрохимическая обстановка

**Цитирование.** Уланов Н.А., Уланов А.Н., Царенко В.П. Экологический мониторинг поверхностных дренажно-сбросных и подземных вод осушаемого торфомассива «Гадовское» Кировской области. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). С. 45–52, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-45-52.

## ENVIRONMENTAL MONITORING OF SURFACE DRAINAGE-WASTE AND UNDERGROUND WATERS OF THE DRAINED PEAT BOG «GADOVSKOYE» KIROV REGION

Nikolay A. Ulanov<sup>1</sup>, Anatoliy N. Ulanov<sup>1</sup>, Vasily P. Tsarenko<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup>Kirov Meadow-Swamp Experimental Station – branch FSC «AIF named after V.R. Williams»,  
p. Yubileyny, Orichi district, Kirov Region, Russia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University,  
Pushkin, Saint Petersburg, Russia

✉ tsarenko.prof@yandex.ru

**Abstract.** There is an opinion that the drainage of peat bogs, their further exploitation in the peat industry, the subsequent use of the depleted lands in forestry and agricultural production leads to pollution of the aquatic environment (water intakes) with peat destruction products and residual agrochemicals used in the cultivation of forage crops. An example of a typical lowland cutover bog «Gadovskoye», which has been in culture for more than 100 years, it was found that under conditions of limited use of fertilizers and pesticides, the environmental load on the surrounding aquatic environment from incoming swamp waters is insignificant. Only a slight excess of the nitrate and ammonia background in the lower part of the riverbed was noted. In addition, a comparative hydrochemical assessment of drainage-waste and underground (artesian) waters inside the peat bog is given. In seasonal dynamics, the maximum amount of water-soluble fractions of organic matter and ash elements in drainage waters falls in late autumn, in artesian waters – in spring or summer. Under feed crops, minimal losses with drainage waters of the basic crop-forming elements (nitrogen, phosphorus, potassium) were noted in the summer. The lowest degree of mineralization of surface waters was noted in the depleted areas removed from active land use. As the peat soil stays in the agricultural crop, the losses of organic matter and most ash elements increase. It has been established that artesian waters under the cultivated peat deposit are characterized by higher rigidity compared to swamp surface runoff. Such ions as  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  and especially  $\text{NO}_3^-$  are characterized by a higher content in water.

**Keywords:** drained lowland peat bog, cutover bogs, surface drainage water, feed crops, agrarian landscape, domestic water, artesian wells, river runoff, hydrochemical situation

**Citation.** Ulanov N.A., Ulanov A.N., Tsarenko V.P. Environmental monitoring of surface drainage-waste and underground waters of the drained peat bog «Gadovskoye» Kirov Region. // *Izvestiya of*

*Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no 4, pp. 45–52, (In Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-45-52.

**Введение.** Установлено, что в процессе осушения болот и дальнейшего их использования в мелиоративном земледелии в результате минерализации торфа вместе с дренажными водами в среду водоприемников поступает большое количество зольных элементов и водорастворимых фракций органического вещества (ОВ) [1–3]. В условиях применения большого количества агрохимикатов (удобрения, пестициды) загрязнение сбросных вод многократно возрастает [4–7]. Особенностью природопользования на торфомассиве «Гадовское» является резкая смена во времени уровня агротехники на территории размещения кормовых севооборотов. Так, в 60–80-х гг. прошлого столетия под все кормовые культуры стабильно вносили высокие дозы средств защиты растений и минеральных удобрений (до  $N_{160}P_{120}K_{180}$  д.в./га). С 1990 г. количество агрохимикатов уменьшилось до физиологического минимума, а на многолетних травах они практически не применялись. Очевидно, что такая смена агрохимической нагрузки не сможет кардинально изменить структуру и гидрохимический облик дренажно-сбросных вод постболотного агро-биогеоценоза, формирующегося на торфомассиве «Гадовское», однако общий уровень минерализации вод, несомненно, изменится. Можно предположить, что в этих условиях резкого снижения общего агрофона экологическая нагрузка на водоприемники также снизится. Особенность водообеспечения населения и всей производственной инфраструктуры, базирующийся на торфомассиве «Гадовское», заключается в том, что питьевая вода поступает из артезианских скважин, которые оборудованы практически в центре осушаемого болота. В связи с этим возникает потребность в санитарно-гигиенической и химической оценке этих подземных вод, частично питающих бывшее болото и связанных общей гидрологической обстановкой с поверхностными водами.

**Цель исследования** – выявить влияние дренажно-сбросных болотных вод с осушаемого лесолугового постболотного агроландшафта на качество речного стока, а также сравнить эти воды с питьевой водой из артезианских скважин.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Основным объектом исследований является осушаемый низинный торфомассив «Гадовское» Кировской области общей площадью 3000 га в границах нулевой залежи. Болото расположено на второй надпойменной террасе р. Быстрицы, которая служит основным водоприемником сбрасываемых болотных вод. Первые осушительные работы проводились в районе юго-западной части торфомассива площадью 400 га в 1914–1918 гг. Сброс воды осуществлялся через магистральный канал, оборудованный на основе бывшей болотной речки Чернушки. После осушения весь этот участок более 90 лет используется для выращивания овощных, технических зерновых и кормовых культур.

Большая часть торфомассива в период с 1934 по 1970 г. была выработана послойно-фрезерным способом. По мере выхода из-под торфодобычи выработанные поля передавались в сельскохозяйственное производство и под вторичные лесопосадки. В результате на месте бывшего болотного образования сформировался качественно новый антропогенный объект – лесолуговой постболотный агроландшафт, где в определенной последовательности кормовые поля чередуются с участками посадок сосны обыкновенной. На момент наблюдений возраст искусственного древостоя достиг 40–50 лет. Общая площадь залесенных участков около 500 га. Таким образом, доля леса в общей структуре агроландшафта составляет около 20%.



Отбор образцов воды производился из центральных магистральных каналов, осуществлявших максимально возможный общий водосбор.

При любом антропогенном воздействии на торфяные почвы продукты разрушения самого торфа и подстилающей породы способствуют загрязнению водных источников, используемых в качестве водоприемников. Особую опасность представляют фосфат-азотсодержащие соединения и водорастворимые фракции органического вещества, способствующие развитию процесса эвтрофирования, что, в свою очередь, приводит к преждевременному зарастанию и заболачиванию рек и водоемов [8–14]. Общий сброс болотных вод в р. Быстрицу осуществляется через 7 магистральных каналов. Чтобы определить величину предполагаемого загрязнения речной воды, одновременно с основными объектами торфомассива «Гадовское» отбирались образцы в нижнем и верхнем русле р. Быстрицы по отношению к осушаемому объекту.

Вопрос обеспечения населения качественной питьевой водой связан прежде всего с выбором места размещения артезианских скважин и глубины извлечения пресной воды из подходящих водоносных горизонтов. Как уже было отмечено, все скважины оборудованы непосредственно на территории осушаемого болота «Гадовское». Общее количество скважин – 4. Глубина отбора 45–50 м, что соответствует горизонту четвертичных отложений. Время отбора: апрель, июль и ноябрь 2021–2022 гг. Анализ воды проводился в испытательном центре ФГБУ ГЦАС «Кировский».

**Результаты исследования.** Для качественно-количественной оценки дренажных и подземных вод определялись водородный показатель, перманганатная окисляемость (ПО) и основной состав ионов, характеризующий гидрохимическую обстановку. Как уже было отмечено, к основным компонентам стока с осушаемых объектов, вызывающим эвтрофирование водной среды, относят соединения азота, фосфора и водорастворимые фракции органического вещества (ОВ). В табл. 1 представлен химический состав речной воды в верхней и нижней (по отношению к торфомассиву) части русла реки – водоприемник сбросных болотных вод.

Таблица 1. Влияние болотных дренажно-сбросных вод на ионный состав водоприемника (р. Быстрица), мг/л. (среднее за 2021–2022 годы)

Table 1. Influence of swamp drainage-waste water on the ionic composition of the water intake (Bystritsa river), mg/l (average for 2021–2022)

Место отбора	Время	ПО	pH	Анионы					Катионы					Сумма ионов
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe <sub>общ</sub>	
Верхняя часть русла	Весна	15,0	7,8	9,0	26,1	0,14	11,0	121,0	38,0	11,0	0,52	1,20	1,10	219,0
	Лето	13,0	8,5	27,4	8,0	0,20	1,3	217,0	63,0	15,0	0,30	0,40	0,30	333,0
	Осень	14,0	8,0	25,6	37,0	0,14	6,5	206,0	61,0	16,0	0,82	0,80	0,81	354,6
	Среднее	<b>14,0</b>	<b>8,1</b>	<b>20,7</b>	<b>23,7</b>	<b>0,16</b>	<b>6,3</b>	<b>181,0</b>	<b>54,0</b>	<b>14,0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,80</b>	<b>0,74</b>	<b>302,3</b>
Нижняя часть русла	Весна	15,0	7,8	18,3	28,9	0,13	12,5	126,0	38,0	10,0	0,49	1,30	1,31	236,9
	Лето	13,0	8,5	21,0	13,5	0,18	2,1	214,0	56,0	17,0	0,61	0,40	0,19	325,0
	Осень	15,0	8,0	18,6	18,6	0,13	7,5	209,0	68,0	18,0	0,97	0,70	0,84	342,3
	Среднее	<b>14,0</b>	<b>8,1</b>	<b>19,8</b>	<b>20,4</b>	<b>0,14</b>	<b>7,4</b>	<b>183,0</b>	<b>54,0</b>	<b>15,0</b>	<b>0,69</b>	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	<b>301,4</b>

Сравнительный анализ воды показывает отсутствие существенной разницы качества воды по всему руслу. Отмечено лишь незначительное превышение нитратного и аммиачного фона в нижней части русла. Скорее всего, это результат продолжающегося биохимического

разрушения остаточной торфяной залежи, который объективно протекает даже в условиях крайне ничтожного использования удобрительных средств.

Общая характеристика поверхностных дренажно-сбросных вод торфомассива «Гадовское» приводится в табл. 2 и выглядит следующим образом.

1. Наибольшая доля в общей структуре ионного состава приходится на счет 1- и 2-валентных катионов, сульфатов и гидрокарбонатов. В условиях торфяных почв к этому, как правило, добавляются ОВ и азотсодержащие соединения.

2. По совокупности доминирующих ионов сбросные воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу.

3. В сезонной динамике в среднем по объектам максимальное количество ионов вымывается поздней осенью.

4. На участках под кормовыми севооборотами минимальные потери базовых формирующих урожай элементов ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ) приходятся на летний период.

Кроме того, наименьшая степень минерализации сбросных вод отмечена на выработанном участке, не используемом в производстве. По мере увеличения срока использования почвы под кормовыми культурами увеличиваются потери ОВ и большинства зольных элементов.

Общеизвестно, какую важную роль в жизни человека играет обычная питьевая вода и ее качество. В производственных целях, в частности, для поливных работ и поения животных, иногда используют природную воду из рек, водоемов, каналов. Чтобы оценить потребительские свойства воды из открытых и закрытых источников, в табл. 2 приводятся средние по всем объектам значения ионного состава сбросной и артезианской воды, поступающей в водопроводную сеть с глубины 45–50 м.

Таблица 2. Сравнительная оценка болотных дренажно-сбросных вод и питьевой воды, мг/л (среднее за 2021-2022 годы)

Table 2. Comparative assessment of swamp drainage-waste water and domestic water, mg/l (average for 2021-2022)

Объект	Время	ПО	рН	Анионы					Катионы					Сумма ионов
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe <sub>общ</sub>	
Средняя величина по торфомассиву	Весна	21,0	7,7	17,1	17,7	0,10	15,9	196,0	49,2	15,6	0,62	1,1	2,1	315,6
	Лето	21,4	8,5	27,2	7,6	0,09	3,6	303,0	63,2	21,0	0,52	2,3	1,9	430,5
	Осень	25,4	7,4	18,2	17,5	0,17	5,4	298,0	68,8	18,0	1,34	0,7	4,8	432,9
	Среднее	<b>22,6</b>	<b>7,9</b>	<b>20,8</b>	<b>14,3</b>	<b>0,12</b>	<b>8,3</b>	<b>265,7</b>	<b>60,4</b>	<b>18,2</b>	<b>0,83</b>	<b>1,4</b>	<b>2,9</b>	<b>392,3</b>
Артезианская вода (глубина 45 м)	Весна	11,4	7,7	12,6	55,0	-	53,0	360,0	53,0	20,0	0,07	5,1	0,05	559,0
	Лето	7,3	7,7	12,0	63,0	-	64,0	327,0	75,0	25,0	0,13	3,4	0,06	570,0
	Осень	8,4	7,7	11,0	46,0	-	45,0	310,0	60,0	24,0	0,15	1,7	0,12	498,0
	Среднее	<b>9,0</b>	<b>7,7</b>	<b>11,9</b>	<b>54,7</b>	-	<b>54,0</b>	<b>332,3</b>	<b>62,7</b>	<b>23,0</b>	<b>0,12</b>	<b>3,4</b>	<b>0,08</b>	<b>542,0</b>
ПДК показатели в питьевой воде (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода»)	до <b>5,0</b>	<b>6-9</b>	до <b>350</b>	до <b>350</b>	-	до <b>45</b>		<b>200</b>	<b>100</b>	<b>2,5</b>	<b>200</b> (с Na)	до <b>0,3</b>		

Установлена существенная разница по некоторым компонентам химического состава поверхностных и глубинных вод. Так, в артезианских водах значения  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  и особенно  $\text{NO}_3^-$  в разы выше, чем в поверхностно-сбросных. Обратная ситуация отмечена по содержанию ОВ и общего  $\text{Fe}^{2+,3+}$ . В питьевой воде их величина в 2,5 и 36 раз ниже соответственно. В рамках требований СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода» для воды

питьевой здесь следует отметить, что превышение ПДК наблюдается лишь по содержанию ОБ и нитратного азота (табл. 2).

Такие отклонения от санитарно-экологической нормы, возможно, обусловлены тем, что скважины были оборудованы на территории осушаемой и используемой в кормопроизводстве части торфяной залежи. Несмотря на их многометровую глубину, определенная связь между различными водными нишами существует.

#### **Выводы:**

1. В условиях минимального агрофона существенной экологической нагрузки для водоприемников от поступающих болотных вод не выявлено. Незначительное загрязнение происходит лишь за счет азотсодержащих соединений.

2. Артезианские воды под осваиваемой торфяной залежью характеризуются более высокой жесткостью по сравнению с поверхностными дренажно-болотными стоками. Более значительная разница отмечена по ОБ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ . Содержание общего железа в питьевой воде в 36 раз ниже, чем в сбросных водах.

#### **Список источников литературы**

1. Инишева, Л.И. Влияние осушения на режимы почв и химический состав дренажных и подземных вод // Доклады РАСХН. № 1. – М., 2000. – С. 18–21.
2. Толкачев, Г.Ю., Корженевский, Б.И. Некоторые аспекты мониторинга водных объектов при изучении процессов и явлений восстановления плодородия почв и рекультивации земель // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности: материалы научно-практической конференции. ВНИИГиМ. – М., 2022. – С. 371–376.
3. Овчинникова, Е.В. Структурная схема экологического мониторинга поверхностных водных объектов гидромелиоративных систем // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК: материалы международной научно-практической конференции к 130-летию А.Н. Костякова. – М., 2017. – С. 286–289.
4. Максименко, В.П., Меньшикова, С.А. О возможности использования дренажных вод мелиоративных систем в Европейской части Нечерноземной зоны России // Научно-методическое обоснование развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Сборник научных трудов. ВНИИГиМ. – М., 2020. – С. 128–134.
5. Жезмер, В.Б., Щербаков, А.О. Принципы экологически безопасного водоресурсного обеспечения агроландшафтов // Научно-методическое обоснование развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса: сборник научных трудов. ВНИИГиМ. – М., 2020. – С. 323–332.
6. Коломийцев, Н.В., Корженевский, Б.И., Матвеев, А.В. Принципы мониторинга водных объектов и современные подходы к информационному обеспечению принятия решений в условиях техногенной нагрузки // Научно-методическое обоснование развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса: сборник научных трудов. ВНИИГиМ. – М., 2020. – С. 349–358.
7. Пуховская, Т.Ю. Прецизионное регулирование плодородия почвы как элемента адаптивно-ландшафтного земледелия // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности: материалы научно-практической конференции. ВНИИГиМ. – М., 2022. – С. 108–111.
8. Синькевич, Е.И. Химический состав сточных вод с осушенных торфяных почв // Продуктивность торфяных почв под луговыми агроценозами. – Петрозаводск, 1981. – С. 13–33.
9. Панов, Е.П. Влияние осушительных мелиораций на природные воды // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 6. – С. 27–30.
10. Кирейчева, Л.В., Лентяева, Е.А. Оценка количества и качества дренажных и поверхностных вод, поступающих в речную сеть бассейна р. Волги с осушительных систем Нечерноземной зоны РФ // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны РФ: материалы международной научно-практической конференции. ВНИИГиМ. – М., 2019. – С. 203–211.
11. Стрельбицкая, Е.Б., Соломина, А.П., Губин, В.К. Пригодность дренажных вод для орошения сельскохозяйственных культур на мелиоративных системах двустороннего регулирования

- влажности почвы // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны РФ: материалы международной научно-практической конференции. ВНИИГиМ. – М., 2019. – С. 404–412.
12. Толкачев, Г.Ю., Корженевский, Б.И. Загрязнение микроэлементами р. Пекша (Владимирская область) // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения): материалы международной научно-практической конференции. Т. I. – М., 2020. – С. 294–300.
13. Толкачев, Г.Ю., Корженевский, Б.И., Коломийцев, Н.В., Ильина, Т.А. Техногенная нагрузка и загрязнение микроэлементами р. Клязьма ниже г. Владимир // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения). Материалы Международной научно-практической конференции. Т. I. – М., 2020. – С. 300–305.
14. Глазунова И.В., Нгуен Тхи То Там Анализ качества поверхностных вод р. Да во Вьетнаме / Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения): материалы международной научно-практической конференции. Т. II. – М., 2020. – С. 23–27.

### References

- Inisheva, L.I. The effect of drainage on soil regimes and the chemical composition of drainage and groundwater; *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. № 1, М., 2000, pp. 18–21.
- Tolkachev, G.Yu., Korzhenevsky, B.I. Some aspects of monitoring water bodies in the study of processes and phenomena of soil fertility restoration and land reclamation / The role of land reclamation in ensuring food security. Materials of the scientific-practical conference. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. – М., 2022, pp. 371–376.
- Ovchinnikova, E.V. Structural scheme of environmental monitoring of surface water bodies of hydro-reclamation systems / Ecological aspects of land reclamation, hydraulic engineering and water management of agro-industrial complex. Materials of the international scientific-practical conference on the 130th anniversary of A.N. Kostyakov. – М., 2017, pp. 286–289.
- Maksimenko, V.P., Menshikova, S.A. On the possibility of using drainage waters of reclamation systems in the European part of the Non-Chernozem zone of Russia / Scientific-methodological substantiation of the development of the reclamation and water management complex. Collection of scientific papers. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. – М., 2020, pp. 128–134.
- Zhezmer, V.B., Shcherbakov, A.O. Principles of environmentally sound water resource provision of agricultural landscapes / Scientific-methodological substantiation of the development of the reclamation and water management complex. Collection of scientific papers. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. – М., 2020, pp. 323–332.
- Kolomiitsev, N.V., Korzhenevsky, B.I., Matveev, A.V. Principles of monitoring of water bodies and modern approaches to information support of decision-making in conditions of manmade load / Scientific-methodological substantiation of the development of the reclamation and water management complex. Collection of scientific papers. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. – М., 2020, pp. 349–358.
- Pukhovskaya, T.Y. Precise control of soil fertility as an element of adaptive-landscape farming / The role of land reclamation in ensuring food security. Materials of the scientific-practical conference. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. – М., 2022, pp. 108–111.
- Sinkevich, E.I. Chemical composition of wastewater from drained peat soils // Productivity of peat soils under meadow agrocenoses. – Petrozavodsk, 1981, pp. 13–33.
- Panov, E.P. Influence of drainage melioration on natural waters // Melioration and water management. № 6. – М., 1998, pp. 27–30.
- Kireicheva, L.V., Lentyaeva, E.A. Assessment of the quantity and quality of drainage and surface waters entering the river net of the Volga River basin from drainage systems of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation / Land reclamation is an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Materials of the international scientific-practical conference. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. – М., 2019, pp. 203–211.
- Strelbitskaya, E.B., Solomina, A.P., Gubin, V.K. The suitability of drainage waters for irrigation of agricultural crops on reclamation systems of bilateral regulation of soil moisture / Land reclamation is an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-

- Chernozem zone of the Russian Federation. Materials of the international scientific-practical conference. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. – М., 2019, pp. 404–412.
12. Tolkachev, G.Yu., Korzhenevsky, B.I. Pollution of the Peksha River with trace elements (Vladimir Region) / Modern problems of melioration development and ways to solve them (Kostyakovsky readings). Materials of the International scientific-practical conference. T. I. – М., 2020, pp. 294–300.
  13. Tolkachev, G.Yu., Korzhenevsky, B.I., Kolomeitsev, N.V., Ilyina, T.A. Manmade load and pollution by trace elements of the Klyazma River, Vladimir / Modern problems of land reclamation development and ways to solve them (Kostyakovsky readings). Materials of the International Scientific and Practical Conference. T. I. – М., 2020, pp. 300–305.
  14. Glazunova, I.V., Nguyen, Thi To Tham Analysis of the quality of surface waters of the river Da in Vietnam / Modern problems of land reclamation development and ways to solve them (Kostyakovsky readings). Materials of the International scientific-practical conference. Vol. II. – М., 2020, pp. 23–27.

#### Сведения об авторах

**Уланов Николай Анатольевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Кировская лугоболотная опытная станция – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», <https://orcid.org/0009-0007-7954-0411>, SPIN-код: 5140-6792; e-mail: bolotoagro50@mail.ru.

**Уланов Анатолий Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Кировская лугоболотная опытная станция – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», <https://orcid.org/0009-0005-3265-3254>; e-mail: bolotoagro50@mail.ru.

**Царенко Василий Павлович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, <https://orcid.org/000-0003-2495-1997>, SPIN-код: 7808-4692, Scopus ID: 6603935280; e-mail: tsarenko.prof@yandex.ru.

#### Authors Information

**Nikolay A. Ulanov**, Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Kirov Meadow-Swamp Experimental Station – branch FSC «AIF named after V.R. Williams», <https://orcid.org/0009-0007-7954-0411>; e-mail: bolotoagro50@mail.ru.

**Anatoly N. Ulanov**, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Kirov Meadow-Swamp Experimental Station – branch FSC «AIF named after V.R. Williams», <https://orcid.org/0009-0005-3265-3254>; e-mail: bolotoagro50@mail.ru.

**Vasily P. Tsarenko**, Doc. Sci. (Agric.), Professor of the Alexandrova Department of Soil Science and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State Agrarian University”, <https://orcid.org/000-0003-2495-1997>, SPIN-code: 7808-4692, Scopus ID: 6603935280; e-mail: tsarenko.prof@yandex.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 23.10.2023; одобрена после рецензирования 17.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 23.11.2023; approved after reviewing 17.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 631.815

Код ВАК 4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-53-63

## ФИТОСАНИТАРНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОПЫТНЫХ ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ (С ЭКОНОМИЧЕСКИМ АНАЛИЗОМ)

Л.Л. Свиридова<sup>1</sup>, А.С. Кондратьева<sup>1</sup> ✉, И.С. Корабельников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,  
 р. п. Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия;

✉ alevtina-sergeevna@yandex.ru

<sup>2</sup>Волгоградский государственный аграрный университет,  
 г. Волгоград, Россия

**Реферат.** В данной статье рассмотрены различные проявления фитосанитарных показателей опытных почвенных образцов с проведенным экономическим анализом по эффективности выращивания пшеницы с применением плодородных компонентов. Реализация приоритетных задач по возделыванию зерновых культур происходит с учетом экономической целесообразности сельскохозяйственного производства. Продовольствие является базовым условием жизнедеятельности человека, именно с этим связана столь важная роль продовольственной безопасности. Оценивая уровень безопасности, выделим критерии оценки самообеспеченности – это будут показатели пороговых значений в продовольственной независимости, доступность, соответствие качеству производимых в России продукции и сырья. Среди факторов, влияющих на состояние продовольственной безопасности извне, помимо объемов ввоза с страны вышеперечисленных групп товаров, присутствует зависимость экономики от рыночной конъюнктуры, при внешнеэкономическом давлении следствием становится замедление ее развития не только в плане производственной базы, уровня технологического оснащения, но и мер государственной поддержки производителей сельскохозяйственной продукции. Проявленная приоритетная цель для любого сельскохозяйственного производителя – там, где перспективой достижения выступают любые вариативные компоненты, формирующие плодородные показатели. Так, производственная необходимость возделывания культурных растений выдвигает требования по улучшению не только сортовых особенностей, но и по созданию особых условий произрастания. Для выявления оптимальных сочетаний компонентов почвенной смеси с финансово обоснованными приоритетами проведены испытательные работы с тестируемой культурой – яровой пшеницей сорта Агата. Испытуемая культура была помещена в жестко регламентированные условия. Полученные результаты отражены в данной статье.

**Ключевые слова:** экономическая эффективность, экологические факторы, пшеница, сапрпель, органические составляющие

**Цитирование.** Свиридова Л.Л., Кондратьева А.С., Корабельников И.С. Фитосанитарные проявления опытных почвенных образцов (с экономическим анализом) // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 53–63, doi: 10.24412/2078- 1318-2023-4-53-63.

PHYTOSANITARY MANIFESTATIONS OF EXPERIMENTAL SOIL  
SAMPLES (WITH ECONOMIC ANALYSIS)L.L. Sviridova<sup>1</sup>, A.S. Kondratieva<sup>1</sup> ✉, I.S. Korabelnikov<sup>2</sup><sup>1</sup> All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology,  
r. p. Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow Region, Russia

✉ alevtina-sergeevna@yandex.ru

<sup>2</sup> Volgograd State Agrarian University,  
Volgograd, Russia

**Abstract.** This article discusses various manifestations of phytosanitary indicators of experimental soil samples with an economic analysis of the effectiveness of growing wheat using fertile components. The implementation of priority tasks for the cultivation of grain crops takes into account the economic feasibility of agricultural production. Accordingly, it is food that is the basic indicator of human activity, and it is precisely with this that such an important role of food security is connected. Assessing the level of security, we will highlight the criteria for assessing self-sufficiency – these will be indicators of threshold values in food independence, accessibility, compliance with the quality of products and raw materials produced in Russia. Considering the factors affecting the state of food security from the outside, in addition to the volume of imports from the country of the above groups of goods, there is a dependence of the economy on market conditions, with external economic pressure, as a result, a slowdown in its development, not only in terms of the production base, the level of technological equipment, but also measures of state support for agricultural producers. A manifested priority goal for any agricultural producer, where any variable components that form fertile indicators are the prospect of achievement. Thus, the production need for the cultivation of cultivated plants puts forward requirements for improving not only varietal characteristics, but also the creation of special growing conditions. To identify the optimal combinations of soil mixture components with financially justified priorities, test work was carried out with the tested crop, spring wheat of the Agata variety. The conditions in which the test culture was placed were characterized by strict regulated conditions. The results obtained are reflected in this article.

**Keywords.** *economic efficiency, environmental factors, wheat, sapropel, organic components*

**Citation.** Sviridova L.L., Kondratieva A.S., Korabelnikov I.S. (2023), ‘Phytosanitary manifestations of experimental soil samples (with economic analysis)’, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*. – № 4 (73), pp. 53–63, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-53-63.

**Введение.** Ввиду современного состояния общественных отношений в Российской Федерации и геополитической обстановки в мире, а также санкционного давления именно важность обеспечения выполнения национальных приоритетов предопределяет необходимость укрепления продовольственной безопасности. Доктриной по социально-экономическому развитию определены понятия о продовольственной безопасности страны в первую очередь направлены на обеспечение независимости, фактическую и экономическую доступность возможности приобретения пищевой продукции для каждого гражданина России. Причем не любой пищевой продукции, а такой, которая соответствует всем требованиям и составляет объем потребления, сопоставимый с нормами потребления для поддержания активного и здорового образа жизни нации, фактор сохранения суверенитета, составляющая

политики в демографии за счет поддержания высоких стандартов жизнеобеспечения. Отталкиваясь от жизненно важных товаров потребления на уровне не менее 95% – зерна и картофеля, не менее 90% – молокопродукты, овощи, бахчевые, сахар, растительное масло, не менее 75% – семена отечественной селекции сельскохозяйственных культур, не менее 60% – ягоды и фрукты [1]. В предыдущей доктрине по стратегии социально-экономического развития отсутствовали такие категории продукции, как овощи и бахчевые, семена отечественной селекции, ягоды и фрукты.

С целью повышения конкурентоспособности национальной экономики закладываются долгосрочные перспективы для взаимовыгодных партнерских отношений в условиях многополярного мира, что способствует укреплению Российской Федерации как мировой державы. Также могут оказывать влияние на современное состояние продовольственной безопасности сельскохозяйственные холдинги; при концентрации в отраслевом сегменте, в случае банкротства или подконтрольности иностранным физическим или юридическим лицам – при изменении экономической ситуации в негативную сторону – они могут представлять риск для продовольственного рынка, так как субъекты федерации руководствуются в решениях спорных ситуаций исходя из интересов региона и государства, а субъекты рынка – руководствуются в первую очередь собственной экономической выгодой. Тем не менее, Доктриной не предусмотрены факторы для функционирования и формирования национального продовольственного рынка продовольствия и сельскохозяйственного сырья, лишь существует указание на важность межрегиональной интеграции [2].

**Цель исследования.** Анализ проблематики показал необходимость реализации национальных приоритетов, уменьшения воздействия как внешних, так и внутренних угроз, повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных производителей, обеспечения экологической безопасности произведенной продукции, сохранения и биологизации окружающей среды [3]. Для стабилизации ситуации по недопущению ухудшения состояния продовольственной безопасности принимаются такие меры, как:

- экономические: повышение инвестиционной привлекательности аграрного сектора экономики, предоставление субсидий в виде возврата части затрат; повышение конкурентоспособности продукции; повышение объемов производства; доступность кредитных условий; снижение платежей за лизинговые поставки техники, оборудования, поголовья; повышение доходности субъектов аграрного сектора за счет формирования справедливой закупочной цены;

- агроэкологические: сохранение национальных генетических ресурсов, сортов растений и пород животных, а также надзор за заповедниками, национальными парками, заказниками, реликтовыми озерами. Строгий контроль и ужесточение норм по содержанию вредных выбросов и составляющих производства, негативно воздействующих на здоровье человека и последующие поколения. Развитие экологического сельского хозяйства, защита и сохранение плодородия почвы, эффективное использование земель сельскохозяйственного назначения;

- управленческие: максимально эффективное использование трудовых ресурсов, факторов производства и развитие процессов кооперации.

Использование современной техники и оборудования будет необходимо для расширения воспроизводства, что немаловажно для экономической эффективности ввиду не обеспечения полученных затрат [4]. Рассматривая приоритетные задачи для устойчивого развития растениеводства, можно считать приоритетным движение по данным направлениям:



– взаимосвязанное развитие животноводства, что требует не только увеличения посевов зерновых, но и их большей сохранности. Использование передовых технологий, применение особых условий для ведения расширенного воспроизводства без урона для финансового результата.

Необходимо учитывать вероятность экономических кризисов, влияние которых можно снизить и предупредить за счет государственной поддержки аграрного сектора, налоговой политики, совершенствования законодательной базы и разработки мер по их предотвращению [5]. Требования по условиям произрастания обоснованно предполагают использование искусственно созданных почвенных смесей, с применением которых будет гарантировано получение высокого урожая с наименьшими затратами. Композиционные наполнители, входящие в почвенные смеси, необходимо тестировать не только по агрохимическим показателям, но и на соответствие требованиям фитосанитарной безопасности, на наличие вредоносных патогенных форм [6, 7]. Проявленный композиционный вариант полученной смеси в идеале должен обладать не только отличными плодородными показателями, но и противодейственной структурой для патогенных вредоносных форм. В приоритетном поиске работают ученые разных отраслевых направлений:

- взаимосвязанное развитие животноводства с требованием не только увеличения посевов зерновых, но и их большей сохранности. Использование передовых технологий, применения условий для ведения расширенного воспроизводства без урона финансового результата;

- повышение плодородия почв с использованием минеральных, органических удобрений и других почвенных компонентов, обеспечивающих снижение фоновой нагрузки вредоносных патогенов;

- учёт индивидуальных особенностей региона выращивания при выборе и обосновании севооборота, установка не отказываться от посева многолетних трав в пользу применения чистых паров;

- использование безопасных средств защиты растений для получения качественной безопасной продукции;

- использование перспективных и высокоурожайных сортов растений при оптимизации доли площадей;

- увеличение иммунитета растений к патогенам и вредителям, не только за счет генетической составляющей, но и с применением биологически активных веществ;

- повышение урожайности культур; осуществление мер по снижению потерь собранного урожая.

При всех поисковых решениях необходимо учитывать вероятность экономических кризисов, влияние которых можно снизить и предупредить за счет государственной поддержки аграрного сектора, налоговой политики, совершенствования законодательной базы и разработки мер по их предотвращению [8, 9]. Системный характер процедуры оценки экономической эффективности опытных исследований позволяет обосновывать как экономические интересы аграриев, так и обеспечивает возможности учёта социальных и экологических факторов сельскохозяйственного производства [10].

Следует использовать взаимодействия растений и фитопатогенов, с достижением стабильного равновесия и проектирования микробного сообщества растений для оптимального развития сельскохозяйственных культур [11].

**Материалы, методы и объекты исследования.** Применяемый метод исследования – лабораторный, работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренного постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218 по теме «Высокотехнологичное производство грунтов методами инновационной переработки отходов» (Контракт № 075-11-2021-059 от 24.06.2021, идентификатор государственного контракта 000000S407521QL90002) и Государственного задания по теме: «**FGGU-2022-0011 Методологическое обоснование приемов и способов преодоления резистентности вредных организмов (фитопатогенов) применением целевого синтеза органических соединений, гибридных минерально-органических соединений и экологических методов контроля посредством биоресурсных коллекций**».

В данной статье изложены обработанные результаты проведенных исследований почвенных смесей с тест-культурой – яровой пшеницей сорта «Агата». Фактор 1 – Яровая пшеница сорта «Агата» (Россия) (А); питательный грунт (Н); органическое удобрение «Дядюшка гумус» (G); светло-каштановая почва (Е); сапротелевые отложения Волго-Ахтубинской поймы (D); ГУМОСТИМ (F); гуминовые удобрения Гуми-90 (R); без фоновой нагрузки (а). В испытаниях по исследованию выживаемости взят возбудитель, вызывающий фузариозные поражения зерновых культур: *Fusarium culmorum* (W.G.Sm.). Проводимые исследования с применением вариантов фоновой нагрузки искусственного заражения грибами выполнены с использованием ЦКП ГКФМ ФГБНУ ВНИИФ (<http://www.vniif.ru/vniif/page/ckp-gkmf/1373>).

**Результаты исследования.** Все рассматриваемые ростовые параметры яровой пшеницы сорта «Агата» выявили тенденцию влияния на развитие культуры питательных компонентов сформированных смесей при разных условиях окружающей среды. Ответом на поставленные в исследовании задачи может стать аналитическое обозрение по важному фактору обеспечения или по параметру выживаемости. Способность растения адаптироваться к условиям патогенности говорит о его способности извлекать из почвенного потенциала необходимые вещества для сопротивляемости обстоятельствам. При этом все необходимые вещества должны находиться в доступной для растений форме. Почвенная смесь, исследуемая в варианте (AED) с применением сапротелевых отложений, соответствует требованиям растений, так как в своем потенциале имеет ряд необходимых веществ в доступной для растений форме, что подтверждено опытными исследованиями, результаты которых отражены на рисунке.

Графическое изображение результатов выживаемости яровой пшеницы сорта «Агата» демонстрирует активность растения при проявлении питательности почвенных смесей. Проведём анализ полученных результатов по вариантам:

- контрольный вариант (AE) со светло-каштановой почвой показал результаты в значениях: а – 90,9% выживаемости, но при фоновой нагрузке патогенными организмами значения падают до уровня b – 38,4%. В данных условиях у растения в 2,4 раза уменьшается шанс на развитие;

- варианты с органической составляющей (АН, АЕF, АЕR) показывают прекрасные результаты без фоновой нагрузки (а) в значениях 91,5%; 91,6% и 90,2% соответственно. Это не удивительно, так как органическая составляющая является одним из главных факторов плодородия, что способствуют росту и развитию растения. При предпринятой нагрузке патогенными организмами штаммов *Fusarium* органическое вещество не может поддержать

растение в борьбе с данным видом агрессии, что мы и наблюдаем в вариантах исследования: b 32,3; 31,5, где наблюдается всего 30% выживаемости;

- вариант с использованием сапропелевых отложений показывает наилучшие результаты: a – 95,7%; b – 79,3%. Данный вариант всего на 16,4% не может обеспечить выживаемость растения в связи с патогенной средой обитания;

- самые низкие показатели по выживаемости показал вариант с использованием почвенной смеси светло-каштановой почвы и органического удобрения «Дядюшка гумус» (AEG): a – 57,3% и b – 19,5%.

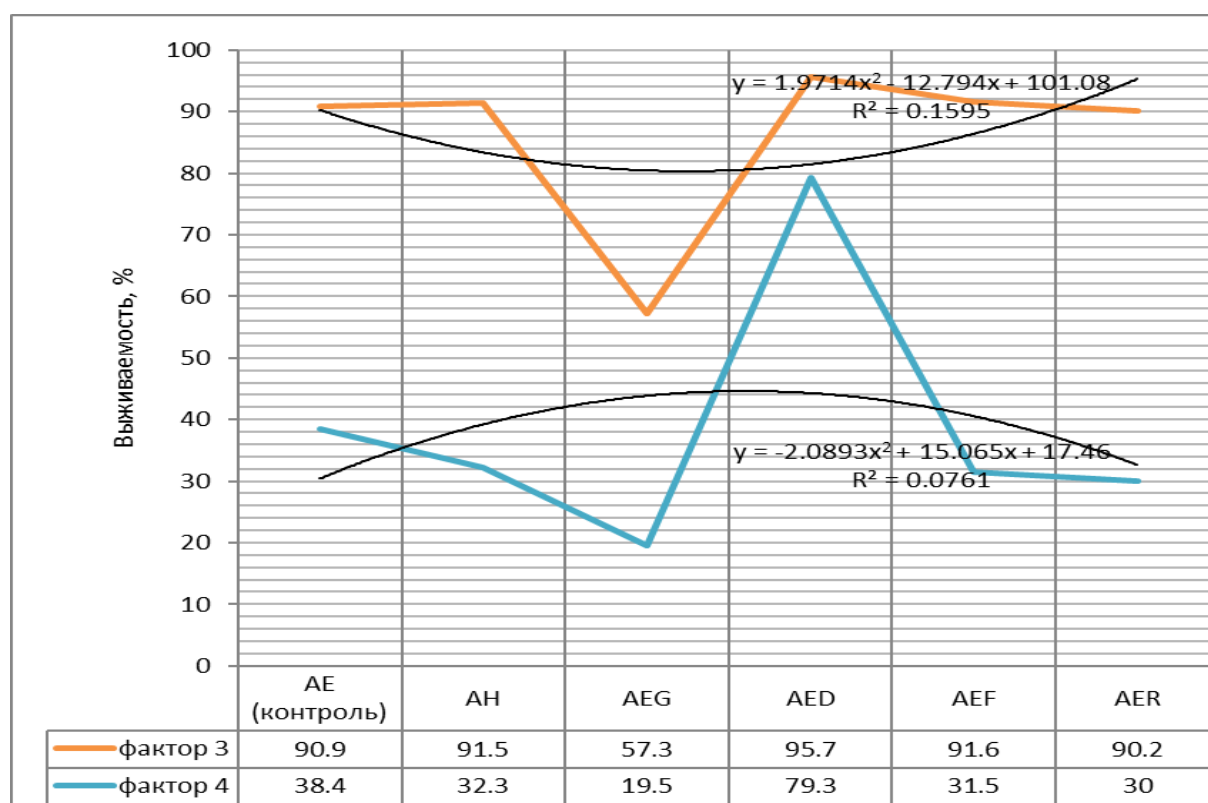


Рисунок. Выявленные параметры выживаемости яровой пшеницы сорта «Агата»  
в условиях фактора 2

Figure. Identified parameters of the survival of spring wheat variety "Agata" under the conditions  
of factor 2

Обобщение исследований ростовых особенностей яровой пшеницы сорта «Агата» с изменением почвенных компонентов, согласно данным в табл. 1, свидетельствовало о существенном размахе параметров натуральной эффективности от 17,8 ц/га (в условиях внесения в светло-каштановую почву органического удобрения «Дядюшка гумус») до 29,7 ц/га (при дополнительном внесении сапропеля). При этом влияние фоновой нагрузки *Fusarium* (b) привело к ещё более существенным колебаниями урожайности, минимальные (6,0 ц/га) и максимальные (24,6 ц/га) значения которой сохранили базовые почвенные компоненты при существенном увеличении выхода продукции с единицы посевной площади (размер выхода дополнительной продукции при этом вырос с 12,2 ц/га до 18,6 ц/га).

Таблица 1. Изменение натуральных показателей эффективности возделывания яровой пшеницы по опытным исследованиям ростовых особенностей в подготовленных вариантах  
 Table 1. Change in natural indicators of the efficiency of spring wheat cultivation according to experimental studies of growth characteristics in prepared variants

№ п.п	Вариант	Без фоновой нагрузки (а)				С фоновой нагрузкой <i>Fusarium</i> (b)			
		Выживаемость, %	Урожайность, ц/га	Изменение*		Выживаемость, %	Урожайность, ц/га	Изменение	
				ц/га	%			ц/га	%
1.	Е (Контроль)	90,9	28,2	-	-	38,4	11,9	-	-
2.	Н	91,5	28,4	0,2	0,7	32,3	10,0	-1,9	-15,9
3.	EG	57,3	17,8	-10,4	-37,0	19,5	6,0	-5,9	-49,2
4.	ED	95,7	29,7	1,5	5,3	79,3	24,6	12,7	106,5
5.	EF	91,6	28,4	0,2	0,8	31,5	9,8	-2,1	-18,0
6.	ER	90,2	28,0	-0,2	-0,8	30	9,3	-2,6	-21,9

Примечание: \*относительно варианта Е (контроль)

Вместе с тем объективное увеличение валовых сборов урожая яровой пшеницы в разрезе представленных вариантов проведённых опытов не в полной степени сочетается с критериями экономической эффективности. Так, оценка рыночной стоимости дополнительных затрат на закупку, доставку, внесение почвенных компонентов, а также на уборку прибавки урожая свидетельствует о существенном влиянии этих компонентов на финансовые результаты производства. В связи с этим параметры расчётной прибыли приобретают максимальные значения в контрольном варианте и при внесении препарата «Гумостим», а именно 20,4 и 20,1 тыс. руб. с 1 га. В то же время размер расчётной прибыли при внесении сапропеля существенно уступает максимальным значениям финансового результата, он составляет около 3,5 тыс. на га, но при этом сапропель дает возможность вести устойчиво прибыльное производство яровой пшеницы.

Следует отметить, что высокие затраты на дополнительное внесение питательного грунта и органического удобрения «Дядюшка гумус» приводят к убыточности производства яровой пшеницы сорта «Агата» на светло-каштановой почве (см. табл. 2): от 9,2 до 83,8 тыс. руб./га, что подчёркивает отсутствие экономической целесообразности их применения в коммерческих условиях.

Таблица 2. Расчет дополнительных затрат возделывания яровой пшеницы по опытным исследованиям ростовых особенностей в подготовленных вариантах, руб./ га  
Table 2. Calculation of additional costs of spring wheat cultivation based on experimental studies of growth characteristics in prepared options, rub/ha

Статьи затрат	Варианты опытных исследований				
	Н	EG	ED	EF	ER
Без фоновой нагрузки (а)					
Всего затрат	104521,6	15592,8	5552,0	538,6	10461,0
С фоновой нагрузкой <i>Fusarium</i> (b)					
Всего затрат	103960,8	18788,8	6759,6	-71,8	9905,8

Влияние фоновой нагрузки *Fusarium* (b) приводит не только к резкому сокращению урожая яровой пшеницы, но и к убыточности производства зерна по четырём из шести опытных результатов (по данным табл. 3).

Таблица 3. Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы по опытным исследованиям ростовых особенностей в подготовленных вариантах  
Table 3. Economic efficiency of spring wheat cultivation according to experimental studies of growth characteristics in prepared variants

№ п.п.	Вариант	Без фоновой нагрузки (а)	С фоновой нагрузкой <i>Fusarium</i> (b)
		Уровень рентабельности по чистому доходу, %	Уровень рентабельности по чистому доходу, %
1.	Е (Контроль)	115,55	8,29
2.	Н	-68,62	-88,64
3.	EG	-27,74	-75,91
4.	ED	72,72	53,79
5.	EF	110,65	-10,39
6.	ER	34,41	-46,25

Контрольные данные сохраняют пограничные возможности возврата затрат на производство, но параметры финансовых результатов стремятся к нулевой альтернативе ведения зернового хозяйства. В то же время максимальное сохранение урожая, а вместе с ним и наибольший финансовый результат обеспечивает внесение сапропеля. Здесь происходит менее существенное сокращение чистого дохода с 1 га: от 16,9 до 11,6 тыс. руб., и формируется максимально возможный уровень рентабельности производства по фоновой нагрузке – около 54%, параметры которого обеспечивают возможности сохранения условий для ведения расширенного воспроизводства.

По экономической эффективности возделывания яровой пшеницы из опытных исследований ростовых особенностей следует, что окупаемость производственных затрат по сорту яровой пшеницы «Агата» существенно изменяется при воздействии фоновой нагрузкой *Fusarium* (b), что приводит к существенному сокращению и даже утрате экономической целесообразности сельскохозяйственного производства по всем опытным вариантам, за исключением внесения сапропелевых отложений Волго-Ахтубинской поймы.

В связи с этим внесение этого почвенного компонента приводит к удорожанию производства яровой пшеницы (на 5,6 тыс. руб./га), но в то же время кратность внесения сапропеля (раз в 5 лет) при обеспечении возможностей планирования урожая, устойчивого получения прибыли и высокой вероятности изменения фоновой нагрузки свидетельствует о лучших параметрах экономической эффективности, 73% и 54% с учётом соответствующей фоновой нагрузки.

**Выводы.** Формирование приоритета «без нарушения баланса» в системном тиражировании инноваций в сельском хозяйстве, связанных с преобразованием технологий в части внесения новых почвенных компонентов, определяется расширением хозяйственных возможностей по наращиванию объёмов производства сельскохозяйственной продукции, снижению рисков неопределённости гибели сельскохозяйственных культур, сохранению и планированию будущего урожая, сочетанию роста натуральных и стоимостных параметров эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. Выводы по влиянию сапропелевых отложений на рост и развитие пшеницы при фоновой нагрузке в лабораторных условиях (фактор 2):

- в ходе проведённого исследования были получены доказательные результаты о благотворном влиянии почвенных смесей с добавлением сапропелевых отложений (AED – светло-каштановая почва + сапропелевые отложения в соотношении 50/50);

- на всех просматриваемых параметрах роста и развития пшеницы в созданных условиях фактора 2 при раннем этапе онтогенеза получены самые высокие показатели: по длине coleoptilia, а – 2,3 см и b – 3,0 см; по длине листа: а – 9,0 см и b – 4,9 см; по суммарной длине всех корней: а – 24,3 см и b – 11,2 см; по количеству сформированных корней: а – 7 шт. и b – 6 шт.; по выживаемости: а – 95,7% и b – 79,3%.

С учетом многочисленных вариаций опытных данных в рамках экономического обоснования выбора наиболее приемлемого варианта, проведенные исследования позволяют определить рыночный эффект (в виде приращения валовых финансовых результатов и расчётной прибыли), оценить результативность технологических операций (в рамках повышения рентабельности) и альтернативы экономии за счёт предотвращения гибели урожая (в процессе анализа изменения имплицитных затрат).

#### Список источников литературы

1. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. -N 20 Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации // Сетевое издание портал ГАРАНТ.РУ. - 1990. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/73438425.htm> ( дата обращения 28.03.2023).
2. Боткин, О.И., Сутыгина, А.И., Сутыгин, П.Ф. Экономика, бухгалтер и земельные ресурсы. – 2020. – С. 154–160.
3. Власова, Г.Б., Сараев, Н.В., Проблемы формирования нормативно-правового регулирования продовольственной безопасности РФ. // Северо-Кавказский юридический вестник. – 2020. – № 4. – С. 131–135
4. Сутыгина, А.И., Нуруллина, А.М. Риски и угрозы обеспечения продовольственной безопасности региона. // Проблемы региональной экономики. – 2018. – № 3-4. – С. 143–152.
5. Белоконов, Ю. В. Диагностика основных элементов и компонентов механизма обеспечения безопасности продовольственной политики // Образовательные технологии на современном этапе развития научного знания: сборник научных трудов. – 2022. – С. 10–13.
6. Алламурастов, М.У. Новые полимерные реагенты для закрепления почвогрунтов и исследование их свойств // Пластические массы. – 2017. – № 3-4. -С. 53–55.
7. Жибуртович, К.К., Основин, В.Н. Современные требования к определению водно-физических свойств почвогрунтов // Аграрная наука. – 2023. – № 5. – С. 6–8.

8. Есаян, И. И. Количественные параметры продовольственной безопасности России // Экономическая безопасность социально-экономических систем: вызовы и возможности. Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 11–15.
9. Завриев, С. К. Проблемы биобезопасности и потенциальные угрозы в аграрно промышленном секторе. // Год планеты: экономика, политика, безопасность. – 2021. – С. 77–84.
10. Левитин, М. М. Приоритетные направления фитопатологических исследований. // Евразийское Научное Объединение. – 2021. – № 1–6 (71). – С. 481–483.

### References

1. Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 – N 20 On the Association of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation // Network edition portal GARANT.RU. – 1990. [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/73438425.htm> (accessed 03/28/2023).
2. Botkin, O.I., Sutygina, A.I., Sutygin, P.F.(2020), Economics, accounting and land resources, pp. 154–160.(In Russ).
3. Vlasova, G.B., Saraev, N.V. (2020), Problems of formation of legal regulation of food security in the Russian Federation, North Caucasian legal bulletin, no. 4, pp. 131–135. (In Russ).
4. Sutygina, A.I., Nurullina, A.M. (2018), Risks and threats to ensure food security in the region, Problems of regional economy, no. 3–4, pp. 143–152. (In Russ).
5. Belokonov, Yu. V. (2022), Diagnostics of the main elements and components of the food policy security mechanism, Educational technologies at the present stage of development of scientific knowledge: a collection of scientific papers, pp. 10–13. (In Russ).
6. Allamuratov, M.U.(2017), New polymeric reagents for fixing soils and the study of their properties, Plastic masse, no. 3–4, pp. 53–55. (In Russ).
7. Zhiburtovich, K.K., Osnovin, V.N. (2023), Modern requirements for the determination of the water-physical properties of soils, Agrarian science, no. 5, pp. 6–8. (In Russ).
8. Yesayan, I. I. (2022), Quantitative parameters of food security in Russia, Economic security of socio-economic systems: challenges and opportunities. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, pp. 11–15. (In Russ).
9. Zavriev, S. K. (2021), Problems of biosafety and potential threats in the agro-industrial sector, Year of the planet: economics, politics, security, pp. 77–84. (In Russ).
10. Levitin, M. M. (2021), Priority areas of phytopathological research, Eurasian Scientific Association, no. 1–6 (71), pp. 481–483. (In Russ).

### Сведения об авторах

**Свиридова Лариса Леонтьевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела по работе с грантами, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», <https://orcid.org/0000-0002-4214-194X>, SPIN- код 3602-8560; e-mail: [larina67@bk.ru](mailto:larina67@bk.ru).

**Кондратьева Алевтина Сергеевна**, аспирант, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», <https://orcid.org/0009-0002-3278-2513>, SPIN-код 8536-0811; e-mail: [alevtina-sergeevna@yandex.ru](mailto:alevtina-sergeevna@yandex.ru).

**Коробельников Иван Сергеевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая безопасность», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-0428-5838>, SPIN- код 3803-0903; e-mail: [korabelnikov\\_ivan@volgau.com](mailto:korabelnikov_ivan@volgau.com).

### Information about the authors

**Larisa L. Sviridova**, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher at the Department for Work with Grants, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Phytopathology, <https://orcid.org/0000-0002-4214-194X>, SPIN-code 3602-8560; [larina67@bk.ru](mailto:larina67@bk.ru).

**Alevtina S. Kondratyeva**, postgraduate student, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Phytopathology", <https://orcid.org/0009-0002-3278-2513>, SPIN-code 8536-0811; [alevtina-sergeevna@yandex.ru](mailto:alevtina-sergeevna@yandex.ru).

**Ivan S. Korabelnikov**, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of "Economic Security", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-0428-5838>, SPIN-code 3803-0903; [korabelnikov\\_ivan@volgau.com](mailto:korabelnikov_ivan@volgau.com).

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 31.07.2023; одобрена после рецензирования 25.10.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 31.07.2023; approved after reviewing 25.10.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 631.4

Код ВАК 4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-63-70

## АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ХОЗЯЙСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ю.С. Манакова<sup>1</sup> ✉, П.С. Манаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,

г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ golichena@yandex.ru

**Реферат.** Агрохимическое обследование является основой для разработки оптимальной системы удобрений для сельскохозяйственных культур каждого хозяйства. Оно проводится с целью агрохимической оценки почв и контроля над изменением плодородия. Регулярные обследования носят практический характер. Данные, полученные в ходе исследования, позволяют установить и предотвратить начало деградации агрохимических свойств отдельных участков в хозяйствах. Важно понимать, что периодичность проведенных обследований не должна превышать 5-6 лет, за такой временной промежуток заканчивается действие и последствие многих удобрений и мелиорантов, а также возможна смена севооборота. Целью настоящей статьи является анализ агрохимического обследования, проведенного в 2021 г. в учебно-опытном хозяйстве СПбГАУ, а также сравнение данных с проведенным в 2009 г. аналогичным обследованием, выявление участков в хозяйстве, которые подверглись деградации. В статье приведены материалы агрохимического обследования 2009 и 2021 г. По данным 2021 г. выявлено, что имеются поля, на которых крайне необходимо провести мелиоративные мероприятия, главным образом – известкование. Большая часть площадей нуждается во внесении органических удобрений. Особо остро стоит проблема с содержанием подвижного калия. По сравнительным данным двух обследований удалось установить, что в хозяйстве за 12 лет, с момента проведения последнего обследования, число деградированных участков увеличилось, что говорит о необходимости комплексного подхода к решению данной проблемы. Необходимо чаще контролировать параметры плодородия, и систематически проводить агротехнические и агрохимические мероприятия.



**Ключевые слова:** агрохимия, агрохимическое обследование, дерново-подзолистые почвы, деградация почв, плодородие сельскохозяйственных угодий, учхоз СПбГАУ

**Цитирование:** Манакова Ю.С., Манаков П.С. Агрохимическое обследование почв учебно-опытного хозяйства Санкт-Петербургского государственного аграрного университета// Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 63-70, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-63-70.

## AGROCHEMICAL SOIL SURVEY OF THE TRAINING AND EXPERIMENTAL FARM OF SAINT-PETERSBURG STATE AGRARIAN UNIVERSITY

Yu.S. Manakova<sup>1</sup> ✉, P.S. Manakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University,  
Pushkin, Saint Petersburg, Russia;

✉ golichena@yandex.ru

**Abstract.** Agrochemical survey is the basis for the development of an optimal fertiliser system for each farm's crops. It is carried out for the purpose of agrochemical evaluation of soils and control over changes in soil fertility. Regular surveys are of a practical nature. The data obtained during the survey allow establishing and preventing the beginning of degradation of agrochemical properties of certain areas in farms. It is important to understand that the periodicity of conducted surveys should not exceed 5-6 years, during such a time interval the effect and aftereffect of many fertilisers and ameliorants ends, as well as possible change of crop rotation. The purpose of this article is to analyze the agrochemical survey conducted in 2021 at the training and experimental farm of SPbSAU, as well as to compare the data with a similar survey conducted in 2009, to identify areas in the farm that have been degraded. The article presents the materials of the agrochemical survey in 2009 and 2021. According to the data of 2021, it was revealed that there are fields on which it is extremely necessary to carry out reclamation measures, mainly liming. Most of the areas require the application of organic fertilizers. The problem with the content of mobile potassium is particularly acute. According to the comparative data of the two surveys, it was possible to establish that in the 12 years since the last survey, the number of degraded areas has increased, which indicates the need for an integrated approach to solving this problem. It is necessary to monitor fertility parameters more often, and systematically carry out agrotechnical and agrochemical measures.

**Keywords:** agrochemistry, agrochemical survey, sod-podzolic soils, soil degradation, fertility of agricultural land, educational facilities of SPbSAU

**Citation.** Manakova, Y.S., Manakov P.S. (2023), "Agrochemical soil survey of the training and experimental farm of Saint-Petersburg State Agrarian University", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no. 4, pp. 63–70 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-63-70.

**Введение.** В Северо-Западном регионе РФ одной из важнейших задач увеличения и поддержания плодородия дерново-подзолистых почв является эффективное использование минеральных и органических удобрений, а также средств химической мелиорации. Успешно реализовывать данные мероприятия можно только на основе всестороннего учета почвенных условий в хозяйстве. Для этого необходимо регулярно проводить комплексное агрохимическое обследование почв, которое дает представление о динамике показателей почвенного плодородия, таких как кислотность почв, содержание обменного калия, подвижного фосфора, содержание гумуса (органического вещества).

Данная тема весьма актуальна в наше время, поскольку большое количество земель сельскохозяйственного назначения в Северо-Западном регионе Российской Федерации страдают от падения почвенного плодородия, которое было сформировано человеком еще в советское время [2]. На фоне глубокого системного кризиса, связанного с подорожанием

удобрений и мелиорантов, проблема поддержания и воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв временно утратила внимание агрохимиков, приобретя еще более серьезный характер [1]. Поэтому важно как можно чаще проводить агрохимический мониторинг. Так, для актуализации информации о плодородии почв в учебном хозяйстве «Пушкинское» ФГБОУ ВО СПбГАУ было проведено агрохимическое обследование, направленное на сбор и анализ данных по сельскохозяйственным угодьям.

**Цель исследования** – анализ агрохимического состояния почв учебного хозяйства «Пушкинское» СПбГАУ, сравнение полученных данных с предыдущим «туром» обследований.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Агрохимическое обследование проводилось в 2021 г. на территории учхоза «Пушкинское», которое принадлежит Санкт-Петербургскому государственному аграрному университету.

Структура полей и выращиваемые ФГБОУ ВО СПбГАУ культуры в границах города Санкт-Петербурга (г. Пушкин) представлены на рис. 1. По данным агрономических материалов известно, что в последние 5 лет в хозяйстве бесменно выращивают многолетние травы на кормовые цели. Общая площадь исследуемых участков составила 932,1 га. Отбор проб почв для агрохимического анализа осуществлялся согласно ГОСТ 58595-2019 [4]. Отобранные пробы анализировали в испытательной лаборатории экологического контроля объектов окружающей среды (ИЛ ЭКООС) ФГБОУ ВО СПбГАУ.

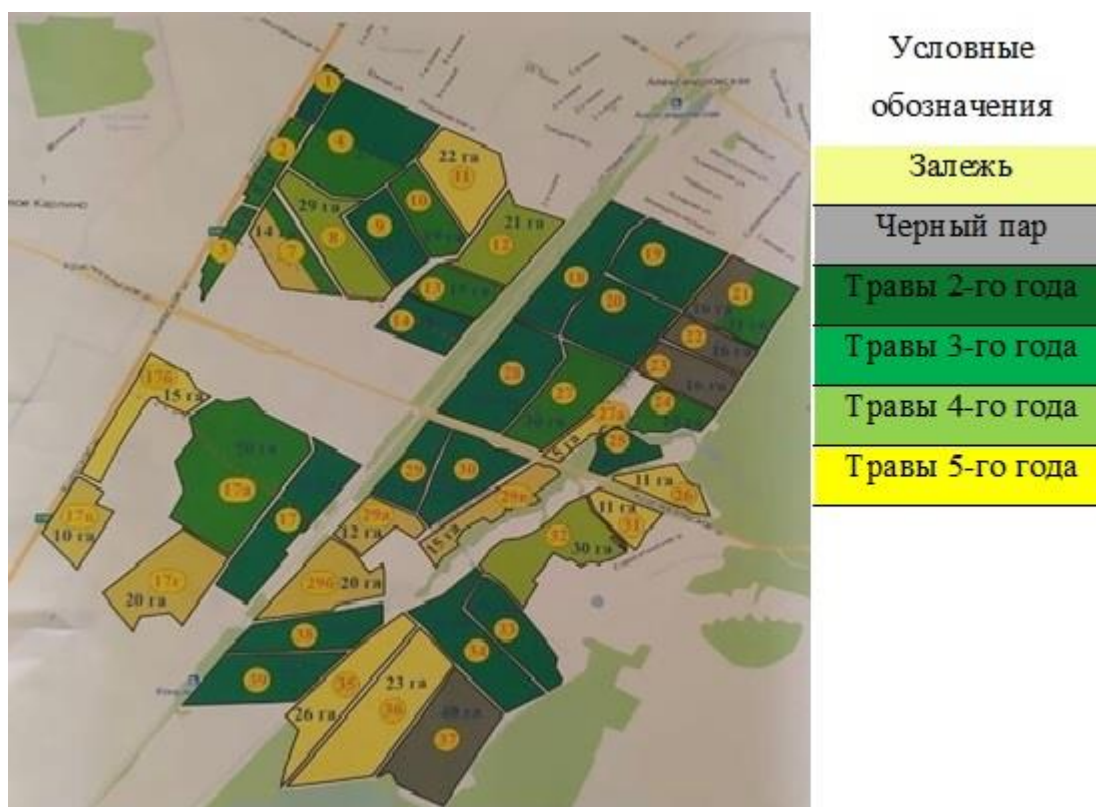


Рисунок 1. Структура полей  
 Picture 1. **Field structure**

Пробы для анализа готовили следующим образом: смешанные почвенные образцы, доведенные до воздушно-сухого состояния, размалывали и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм. Из каждой размолотой смешанной пробы отбирали образец массой 200 г, в котором определяли основные агрохимические показатели почв.

Исследование агрохимических показателей проводили по следующим методикам:

- Определение рНКСI потенциометрическим методом по ГОСТ 26483-85 [5].
- Определение содержания подвижного фосфора и калия по методу Кирсанова А.Т. ГОСТ Р 54650-2011 [6].

• Определение содержания органического вещества по методу Тюрина И.В. в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213 [7].

Сбор и анализ данных осуществляли с помощью программы Microsoft Excel.

**Результаты исследования.** Результаты обследования 2021 г. представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты исследования 2021 г.

Table 1. The results of the 2021 study

участка	Площадь, га	рН, ед.	С, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Номер участка	Площадь, га	рН, ед.	С, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг
1	4,9	5,7	6,8	600,0	89,6	25	9,2	5,7	4,6	494,0	86,6
2	8,4	5,4	5,0	170,3	118,5	26	10,4	6,4	8,0	442,6	77,0
3	6,7	5,8	6,1	327,3	196,6	27	28,2	5,4	4,9	205,0	101,0
4	45,3	5,6	6,5	338,3	101,1	28	32,7	5,0	5,1	135,0	112,0
5	15,6	5,5	6,0	225,9	102,5	29	14,1	5,4	5,6	377,3	95,6
6	20,6	5,7	2,5	24,1	16,0	30	22,2	6,4	6,1	539,0	129,0
7	20,9	5,5	6,6	238,9	179,1	31	10,4	5,6	5,4	460,0	156,6
8	27,1	5,2	4,8	114,4	154,7	32	29,8	5,7	7,1	346,0	116,7
9	19,1	5,9	2,2	298,1	195,9	33	19,9	5,4	6,5	196,0	66,9
10	16,2	5,3	4,5	169,7	101,0	34	28,1	4,9	6,2	255,0	83,6
11	24,2	5,0	2,0	63,1	121,2	35	24,4	5,7	6,0	476,8	79,9
12	23,8	5,2	1,6	163,3	87,0	36	42,0	5,7	6,2	429,1	89,4
13	13,2	5,2	4,0	167,1	108,3	37	35,8	4,3	5,3	103,0	63,0
14	14,4	5,8	2,4	311,2	178,0	38	19,3	5,7	5,6	342,4	104,2
15	9,0	5,6	1,9	27,1	39,3	39	24,4	5,3	6,5	431,0	108,5
16	8,6	5,4	2,2	29,4	38,2	40	2,3	6,5	6,2	302,0	42,0
17	30,9	5,9	4,9	246,0	42,9	41	4,1	6,2	5,1	158,0	107,9
18	27,8	5,4	6,5	235,0	147,0	42	2,0	5,7	6,7	132,0	83,2
19	27,5	5,2	5,8	229,0	84,0	43	7,8	5,6	6,5	240,0	124,5
20	27,9	5,4	4,9	205,0	101,0	44	22,3	5,6	8,0	326,8	195,6
21	26,7	5,6	4,8	186,0	78,0	45	58,4	5,3	6,3	437,7	84,0
22	13,9	5,7	6,8	330,0	174,0	46	6,0	5,7	6,8	330,0	174,0
23	16,6	5,1	4,2	169,0	71,0	47	17,6	5,6	6,2	294,0	134,0
24	11,4	5,3	4,9	186,0	99,0	-	-	-	-	-	-

Данные свидетельствуют, что 44,7% обследованных участков по кислотности относятся к группе близких к нейтральным; 38,3% – к слабокислым; 8,5% – к нейтральным; 6,4% – к среднекислым и 2,1% – к сильнокислым. Таким образом, 8,5% почв нуждаются в немедленном известковании, а 46,8% обследованных полей в нем будут нуждаться в будущем.

По содержанию органического вещества обследованные площади представляют следующую градацию: 6,4% участков относятся к группе с очень низким содержанием; 10,6% – к группе с низким содержанием; 40,4% – к группе со средним содержанием и 42,6% – к группе с повышенным содержанием органического вещества. Следовательно, на 27 из 47 обследованных участках необходимо внесение органических удобрений.

По содержанию подвижных соединений фосфора 46,8% исследованных участков

по-прежнему находятся в группе с очень высоким содержанием; 36,2% – с высоким содержанием; 8,5% – с повышенным; 2,1% – со средним содержанием; 4,3% – с низким содержанием; 2,1% – с очень низким содержанием.

По содержанию обменного калия 22 обследованных участка относятся к группе со средним содержанием, 8 – с низким содержанием, по 7 – с повышенным и высоким содержанием и 3 – с очень низким содержанием. Как показало обследование, калиевая проблематика на дерново-подзолистых почвах до сих пор является нерешенной во многих хозяйствах. Известно, что для изменения содержания подвижных соединений азота, фосфора и калия в почве на 10 мг/кг почвы требуется внесение в среднем N100K100P100 при возможности варьировать величину в зависимости от буферной емкости и окультуренности [3]. Но деградацию агрохимических свойств необходимо оценивать в динамике. Стоит сравнить предыдущий агрохимический «тур», проведенный в 2009 г., с тем, который описывается в данной статье. В табл. 2 приведены данные агрохимического обследования 2009 г.

Таблица 2. Результаты агрохимического обследования 2009 года  
 Table 2. The results of the agrochemical survey 2009

Номер участка	Площадь, га	pH, ед.	C, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Номер участка	Площадь, га	pH, ед.	C, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг
1	4,9	6,5	7,8	130,0	900,0	21	26,7	5,4	7,3	103,0	192,0
2	8,4	4,9	5,1	95,0	120,0	22	13,9	5,1	7,0	208,0	253,0
3	6,7	6,1	6,5	209,0	597,0	23	16,6	5,9	9,1	225,0	473,0
4	45,3	6,1	6,0	140,0	425,0	24	11,4	6,4	5,1	126,0	622,0
5	15,6	5,9	4,7	74,0	128,0	25	9,2	7,1	7,5	281,0	808,0
6	20,6	6,0	6,1	194,0	355,0	26	10,4	6,3	6,0	162,0	603,0
7	20,9	5,1	5,6	109,0	139,0	27	28,2	5,4	7,0	105,0	379,0
8	27,1	4,6	4,8	101,0	113,0	28	32,7	6,3	11,2	96,0	279,0
9	19,1	4,6	10,9	124,0	189,0	29	14,1	5,0	7,7	171,0	355,0
10	16,2	6,2	5,5	103,0	254,0	30	22,2	5,6	9,3	158,0	453,0
11	24,2	5,3	4,5	149,0	183,0	31	10,4	6,3	4,8	178,0	789,0
12	23,8	5,3	4,3	70,0	118,0	32	29,8	5,5	7,2	254,0	387,0
13	13,2	5,1	5,6	91,0	274,0	33	19,9	5,8	8,8	95,0	318,0
14	14,4	5,3	5,3	106,0	100,0	34	28,1	5,8	5,4	105,0	214,0
15	9,0	6,6	6,4	60,0	258,0	35	24,4	5,3	6,7	104,0	421,0
16	8,6	5,6	11,2	153,0	355,0	36	42,0	6,2	7,4	112,0	380,0
17	30,9	5,8	3,4	138,0	108,0	37	35,8	4,7	5,9	123,0	132,0
18	27,8	5,1	5,4	214,0	235,0	38	19,3	5,7	7,0	155,0	336,0
19	27,5	5,9	4,4	159,0	302,0	39	24,4	5,9	4,9	101,0	421,0
20	27,9	5,8	5,7	321,0	382,0	-	-	-	-	-	-

В 2009 г. обследовалось всего 39 участков. В 2021 г. количество участков выросло на 8, и общая площадь увеличилась на 140,5 га. Связано это с производственной необходимостью. В ходе обследования было установлено, что 5 участков относятся к группе среднекислых почв, 11 участков – к слабокислым, 12 участков – близкие к нейтральным и 11 участков нейтральных. Определение органического вещества на обследованных угодьях показало, что только 1 поле было с низким содержанием органического вещества, 19 – со средним, 13 – с повышенным и по 3 участка с высоким и очень высоким.

По содержанию подвижного фосфора 26 полей – с очень высоким содержанием фосфора, 5 – с высоким, 7 – с повышенным и 1 – со средним содержанием. По содержанию обменного калия 3 участка – с низким содержанием, 14 – со средним, 12 – с повышенным содержанием, 7 – с высоким и 3 – с очень высоким содержанием данного показателя.

В 2009 г. количество обследованных участков составляло 39, в 2021 г. – 47. При сравнении двух «туров» количество полей не уравнивалось, т. к. вносило бы субъективный фактор в интерпретацию полученных данных. В табл. 3 приведено количество участков, нуждающихся в агрохимических мероприятиях по повышению уровня плодородия.

Таблица 3. Количество участков, нуждающихся в агрохимических мероприятиях  
Table 3. The number of plots in need of agrochemical measures

Год	Кол-во участков	Необходимо известкование	Необходимо внесение органических удобрений	Необходимо внесение фосфорных удобрений	Необходимо внесение калийных удобрений
2009	39	16	20	1	13
2021	47	22	27	4	33

Из данных табл. 3 можно сделать вывод, что увеличилась площадь почв, нуждающихся в известковании. На территории Ленинградской области остро стоит вопрос с известкованием, так как известкуется всего чуть более 2 тыс. га. Стоит рассмотреть вопрос с известкованием нетрадиционными мелиорантами, например, различными фракциями сыромолотого доломита. В работах [8–11] показано положительное действие различных фракций доломитовой крошки, которая изучается как мелиорант пролонгированного действия.

Проблема деградации количества органического вещества также актуальна, так как число «дефицитных» участков увеличилось почти на 18%. Решить данную задачу можно за счет внесения органических удобрений, которых в учебном хозяйстве в избытке.

Внесения фосфорных удобрений требуют 4 отдельных участка. Также стоит отметить, что за 12-летний период сократилось число «зафосфаченных» полей, поэтому внесение фосфорных удобрений должно быть возобновлено и проводиться на регулярной основе.

Количество полей с недостаточным содержанием калия по сравнению с данными 2009 г. увеличилось на 51%. Для решения данной проблемы необходимо, как минимум, компенсировать продуктивные потери калия за счет внесения калийных удобрений.

По данным табл. 3 можно констатировать деградацию почвенного плодородия многих обследованных участков дерново-подзолистых почв. В данной ситуации следует постоянно контролировать уровень деградационных процессов, не допуская перехода хорошо окультуренных почв в категорию менее окультуренных.

#### **Выводы:**

1. Анализ отобранных в 2021 г. проб показал, что почвы учебного хозяйства «Пушкинское» нуждаются в мелиоративных мероприятиях. 8,5% обследованных площадей требуют немедленного известкования. На 57,4% полей необходимо внесение органических удобрений, а 6,4% почв нуждаются в применении фосфорных удобрений. Остро стоит проблема с калийным питанием, примерно на 70,2% участков требуется внесение калийных удобрений.

2. Сравнительный анализ агрохимических обследований 2009 и 2021 гг. показал, что часть почв учебно-опытного хозяйства деградированы. Так, после обследования 2021 г. выявлено увеличение количества кислых почв на 27,3%. Почти на 18% возросло число полей, которые требуют внесения органических удобрений. До 4 увеличилось количество полей, которые требуют внесения фосфорных удобрений. Дефицит калия увеличился на 51% площадей по сравнению с обследованием 2009 г. Ключевыми моментами в данной проблеме стали несоблюдение сроков прохождения агрохимических обследований и некорректная система применения удобрений.

**Список источников литературы**

1. Иванов, А.И., Филиппов, П.А. Плодородие дерново-подзолистых почв и эффективность систем удобрения // Развитие земледелия в Нечерноземье: проблемы и их решение: сборник трудов по итогам международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург – Пушкин, 09 ноября 2016 года. – Санкт-Петербург – Пушкин: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка». – 2016. – С. 12–15.
2. Иванов, А.И., Иванова, Ж.А., Воробьев, В.А., Цыганова, Н.А. Агроэкологические последствия длительного применения дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 2016. – № 4. – С. 10–17.
3. Банников, В.Н. Изменение свойств дерново-подзолистых почв Московской области при применении минеральных удобрений: Автореф. дис. канд.с.-х. наук. М., – 2003. – С. 18.
4. ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: ФБНУ «ВНИИ агрохимии». 2019. – 6 с.
5. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО – Сб. гос. стандартов. Разработаны Мин. сел. хоз-ва СССР. М.: Изд-во стандартов. 1985. – С. 7–10.
6. ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: ГНУ «ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова» Россельхозакадемии. 2013. – С. 5–6.
7. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. –Всесоюзн. произв.-научн. объедин. «Союзсельхозхимия». М.: Изд-во стандартов, 1991. – С. 1–6.
8. Литвинович, А.В., Павлова, О.Ю., Хомяков, Ю.В. [и др.] Отсев щебёночного производства как перспективный материал для мелиорации кислых почв // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2020. – № 1. – С. 42–48.
9. Манакова, Ю.С., Манаков, П.С. Влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разными фракциями доломитовой крошки на изменение гидролитической кислотности по профилю // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 75–83.
10. Litvinovich A., Pavlova O., Manakov P. [et al.] (2022), "Reclamation properties and fertilizing value of dolostone screenings of various sizes at Albic Retisol in the North-West of Russia", *Geoderma Regional*, vol. 28, pp. 40–42.
11. Litvinovich A. V., Salaev I. V., Pavlova O. Yu. [et al.] (2019), "Utilization of large-sized dolomite by-product particles and losses of cations from acidic soil", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 50, no. 7, pp. 1–9.

**References**

1. Ivanov A.I., Filippov P.A. (2016), "Fertility of sod-podzolic soils and efficiency of fertilizer systems", *Development of agriculture in the Non-Chernozem Region: problems and their solution: A collection of papers on the results of the international scientific and practical conference, St. Petersburg – Pushkin, November 09, 2016*. St. Petersburg-Pushkin: Federal State Budgetary Scientific Institution "Leningrad Research Institute of Agriculture "Belogorka", pp. 12–15. (In Russ.).
2. Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Vorobyev V.A., Tsyganova N.A. (2016), "Agroecological consequences of long-term use of scarce fertilizer systems on well-cultivated sod-podzolic soils", *Agrochemistry*, no. 4, pp. 10–17. (In Russ.).
3. Bannikov V.N. (2003), Changing the properties of sod-podzolic soils of the Moscow Region when using mineral fertilizers: Abstract. dis. Candidate of Agricultural Sciences, ed. Moscow, 18 p. (In Russ.).
4. GOST R 58595-2019. Soil. Sampling. – Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. – Moscow: FBNU "Research Institute of Agrochemistry". 2019, 6 p. (In Russ.).
5. GOST 26483-85. Soil. Preparation of salt extract and determination of its pH by the method of TSINAO – Sb. state standards. Developed by the Ministry of Agriculture of the USSR. M.: Publishing House of standards. 1985, pp. 7–10. (In Russ.).
6. GOST R 54650-2011. Soil. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the Kirchanov method in the modification of the TSINAO. – Federal Agency for Technical Regulation

- and Metrology. – M.: GNU "VNIIA named after D.N. Pryanishnikov" of the Russian Agricultural Academy. 2013, pp. 5–6. (In Russ.).
7. GOST 26213-91. Soil. Methods for the determination of organic matter. – All-Union. proc.- scientific. obed. "Soyuzselkhozkhimiya". M.: Publishing House of standards, 1991, pp. 1–6. (In Russ.).
  8. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Khomyakov Yu.V. [et al.] (2020), "Screening of crushed stone production as a promising material for reclamation of acidic soils", *Vegetable growing and greenhouse farming*, no. 1, pp. 42–48. (In Russ.).
  9. Manakova Yu.S., Manakov P.S. (2022), "The influence of liming of sod-podzolic light loamy soil by different fractions of dolomite crumbs on the change in hydrolytic acidity along the profile", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, № 4 (69), pp. 75–83. (In Russ.).
  10. Litvinovich A., Pavlova O., Manakov P. [et al.] (2022), "Reclamation properties and fertilizing value of dolostone screenings of various sizes at Albic Retisol in the North-West of Russia", *Geoderma Regional*, vol. 28, pp. 40–42.
  11. Litvinovich A. V., Salaev I. V., Pavlova O. Yu. [et al.] (2019), "Utilization of large-sized dolomite by-product particles and losses of cations from acidic soil", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 50, no. 7, pp. 1–9.

### Сведения об авторах

**Манакова Юлия Сергеевна**, младший научный сотрудник испытательной лаборатории экологического контроля объектов окружающей среды, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», SPIN-код: 6529-8404, <https://orcid.org/0000-0002-7851-0583>, AuthorID:1162770; e-mail: [golichena@yandex.ru](mailto:golichena@yandex.ru).

**Манаков Павел Сергеевич**, младший научный сотрудник испытательной лаборатории экологического контроля объектов окружающей среды, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», SPIN-код: 8460-1796, <http://orcid.org/0000-0002-0196-4077>, Researcher ID: GXH-3935-2022; e-mail: [manakov248@bk.ru](mailto:manakov248@bk.ru).

### Information about the authors

**Julia S. Manakova**, Junior Researcher at Environmental Testing Laboratory, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-7851-0583>, SPIN-code: 6529-8404, AuthorID: 1162770; e-mail: [golichena@yandex.ru](mailto:golichena@yandex.ru).

**Pavel S. Manakov**, Junior Researcher at Environmental Testing Laboratory, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0002-0196-4077>, SPIN-code: 8460-1796, Researcher ID: GXH-3935-2022; e-mail: [manakov248@bk.ru](mailto:manakov248@bk.ru).

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 26.09.2023; одобрена после рецензирования 18.10.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 26.09.2023; approved after reviewing 18.10.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья  
УДК 636.59.082.2  
Код ВАК 4.2.4  
doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-71-80

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФО-БИОФИЗИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЯИЦ ДВУХ ПОРОД ПЕРЕПЕЛОВ ЯИЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Л.Т. Васильева<sup>1</sup> ✉, В.Ю. Морозов<sup>1</sup>, А.Г. Бычаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
Санкт-Петербург, Россия  
✉ ludamila51@mail.ru

**Реферат.** В 2022 г. в России было произведено более 140 млн шт. перепелиных яиц, т. е. по одному яйцу на человека в год. В этом сегменте страна значительно уступает многим государствам с развитым птицеводством. Но спрос рождает предложение и в последние годы интенсивно наращивается производство перепелиных яиц, доля которых в общем балансе произведенных пищевых яиц составляет 0,3 % и понемногу растет. Появляются новые породы, кроссы и линии. Целью исследования явился сравнительный анализ морфо-биофизических качеств яиц традиционной яичной японской породы и новой для России синтетической породы – селадон, созданной при использовании 6 пород перепелов в США с голубой пигментацией скорлупы. Порода селадон заявлена как скороспелая, и поэтому была поставлена задача определить, как это отразится на внешних и внутренних биофизических качествах яиц. Яйца последней превосходили японскую породу по массе и качествам скорлупы (упругая деформация и толщина), несмотря на то, что удельный вес скорлупы в яйцах у них был меньше. Анализ морфо-биофизических качеств яиц перепелов двух пород показал, что питательная ценность выше у японской породы. Это говорит о некоторой несбалансированности генотипа породы селадон.

Работа проведена в лаборатории кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко СПбГАУ на яйцах пород перепелов японская и селадон (n=30 яиц по каждой группе) в возрасте 20 недель. В процессе исследования были использованы методики и приборы, разработанные на кафедре, а также методики ВНИТИП.

**Ключевые слова:** японская порода, порода селадон, морфо-биофизические качества яиц

**Цитирование.** Васильева Л.Т., Морозов Ю.В., Бычаев А.Г. Сравнительная характеристика морфо-биофизических качеств яиц двух пород перепелов яичного направления // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 71–80, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-71-80.

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF MORPHO- BIOPHYSICAL QUALITIES OF EGGS OF TWO BREEDS OF QUAILS OF EGG DIRECTION

L.T. Vasilyeva ✉, V.Y. Morozov, A. G. Bychaev

Saint-Petersburg State Agrarian University  
Peterburgskoe Shosse, 2, Pushkin, Saint Petersburg, Russia  
✉ ludamila51@mail.ru

**Abstract.** In 2022, more than 140 million quail eggs were produced in Russia, i.e. one egg per person per year. In this segment, the country is significantly inferior to many states with developed poultry farming. But demand gives rise to supply and in recent years the production of quail eggs has been intensively increasing, the share of which in the total balance of produced edible eggs is 0.3% and is



gradually growing. There are new breeds, crosses and lines. The aim of the study was a comparative analysis of the morpho-biophysical qualities of eggs of the traditional Japanese egg breed and a new synthetic breed for Russia – Celadon, created using six quail breeds in the USA with blue shell pigmentation. The Celadon breed is declared precocious, and therefore the task was set to determine how this would affect the external and internal biophysical qualities of eggs. The work was carried out in the laboratory of the Department of Poultry and Small Animal Husbandry named after P.P. Tsarenko SPbGAU on Japanese and Celadon quail eggs ( $n = 30$  eggs for each group) at the age of 20 weeks. During the study, methods and instruments developed at the department, as well as VNITIP methods were used. The analysis showed that the morpho-biophysical qualities of Japanese eggs (yolk weight, protein-to-yolk weight ratio, protein height, and Howe units) indicated a higher nutritional value compared to the quality of eggs obtained from celadon quail. However, the eggs of the latter exceeded the Japanese rock in mass and shell qualities (elastic deformation and thickness), despite the fact that the specific weight of the shells in the eggs was less. Thus, this indicates some imbalance in the genotype of the Celadon breed.

**Keywords:** *Japanese breed, Celadon breed, morpho-biophysical qualities of eggs*

**Citation.** Vasilyeva L.T., V.Y. Morozov, Bychaev A.G. (2023), ‘Comparative characteristics of morpho-biophysical qualities of eggs of two breeds of quails of egg direction’, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no. 4, pp. 71–80, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-71-80.

**Введение.** Основным яичным продуктом для населения страны являются куриные яйца (в 2022 г. в России произведено 45,8 млрд шт.), которые являются безусловным лидером по реализации пищевых яиц. Однако в последние годы наращивается производство перепелиных яиц, доля которых в общем балансе произведенных пищевых яиц составляет 0,3% (2022 г.). Потребность стимулирует развитие перепеловодства не только в нашей стране, но и за рубежом. В последние годы появились новые породы, обладающие не только высокой яйценоскостью, но и большей живой массой по сравнению с используемой японской породой перепелов [1, 2, 3].

Интерес к используемым породам перепелов постоянно растет. Это вызвано не только высокой питательностью, получаемой от них продукции, но и выведением новых пород. Поэтому оценка качества перепелиных яиц актуальна и представляет большой практический интерес [3, 4, 5]. Изучая продуктивные характеристики перепелов разных пород, качества получаемых от них яиц, можно совершенствовать породу и линии перепелов, с успехом корректировать условия хранения пищевых и инкубационных яиц, режимы инкубации, качество кормления и содержания этой птицы [6, 7, 8]. Однако следует сказать, что качества перепелиных яиц, тем более, полученных от разных пород, почти не изучены (кроме, пожалуй, средней по породе массы яйца), что можно объяснить отсутствием приборов для их оценки [4, 5, 9, 10]. Особенность и новизна данных исследований заключается в использовании более глубокой оценки морфо-биофизических качеств яиц на приборах и с помощью методик, созданных на кафедре птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко [11].

**Цель исследования** – сравнительный анализ морфо-биофизических качеств яиц японской породы и новой для России породы селадон.

Задачи:

1. Изучить морфо-биофизические качества интактных яиц, полученных от перепелов селадон и японской породы.

2. Оценить внутренние качества яиц исследуемых пород.

3. Провести сравнительный анализ морфо-биофизических качеств яиц этих пород.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Работа проведена в лаборатории кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко СПбГАУ на яйцах перепелов яичных пород: японская (n=30 яиц) и селадон (n=30 яиц) в возрасте 20 недель. В процессе исследования были использованы методики и приборы, разработанные на кафедре птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко и методики ВНИТИП [11]. Яйца для исследования были взяты методом случайной выборки, морфологическую и биофизическую оценку проводили по 25 показателям их качества: абсолютная и относительная масса яйца, белка, желтка и скорлупы (г, %), индекс формы (%), плотность яйца (г/см<sup>3</sup>), толщина (мкм), пигментация (балл) и упругая деформация скорлупы (мкм), высота плотного белка и желтка (мм), индексы белка и желтка (%), пигментация желтка (балл), отношение массы белка к массе желтка, единицы Хау и т. д.

Пигментация скорлупы определялась по основному тону скорлупы визуально по 5-балльной шкале (от светлого к более насыщенному темному тону). Ряд показателей был определен расчетным путем.

- Индекс формы яйца (ИФ), %:

$$\text{ИФ} = d \div D \times 100,$$

где d – малый (поперечный) диаметр яйца. ( мм),

D – большой (продольный) диаметр (мм).

- Индекс белка (ИБ), %:

$$\text{ИБ} = 2h \div (d + D) \times 100,$$

где h – высота плотного белка (мм),

d – малый (поперечный) диаметр плотного белка (мм),

D – большой (продольный) диаметр плотного белка (мм).

- Индекс желтка (ИЖ, %):

$$\text{ИЖ} = h \div D \times 100,$$

где h – высота желтка (мм),

d – диаметр желтка (мм).

- Масса белка (M<sub>б</sub>, г):

$$M_{\text{б}} = M_{\text{я}} - (M_{\text{ж}} + M_{\text{ск}}),$$

где M<sub>я</sub> – масса яйца ( г),

M<sub>ж</sub> – масса желтка (г),

M<sub>ск</sub> – масса скорлупы (г).

- Отношение массы белка к массе желтка (ОБЖ):

$$\text{ОБЖ} = M_{\text{б}} \div M_{\text{ж}},$$

где M<sub>б</sub> – масса белка (г),

M<sub>ж</sub> – масса желтка (г),

M<sub>б</sub> – масса белка (г),

M<sub>ж</sub> – масса желтка (г).

- Объём яйца (V, см<sup>3</sup>):

$$V = M_1 - M_2 \times 1,$$

где M<sub>1</sub> – масса яйца в воздухе (г),

M<sub>2</sub> – масса яйца в дистиллированной воде (г),

1 – выталкивающая сила воды (г/см<sup>3</sup>).

- Плотность яйца (P, г/см<sup>3</sup>):

$$P = M_1 \div V,$$

где  $M_1$  – масса яйца в воздухе (г),

$V$  – объём яйца (см<sup>3</sup>).

Кормление и содержание перепелов исследуемых пород было одинаковым. Обработку материалов производили в программе MS Excel.

**Результаты исследования.** Для оценки питательной и биологической ценности яиц японской породы сначала исследовали их морфо-биофизические качества, без нарушения целостности яиц (см. табл. 1).

Анализ данных свидетельствует об очень высоком показателе упругой деформации, что предполагает тонкую скорлупу у яиц этой породы при высокой его изменчивости. Обращает внимание округлая форма яиц, причем колебания индекса формы составляли более 14%.

**Таблица 1. Определение морфо-биофизических качеств интактных яиц японской породы перепелов**

**Table 1. Determination of morpho-biophysical qualities of intact Japanese quail eggs**

Показатели	M±m	Cv,%	Lim	
			min	max
Масса яйца, г	11,03±0,12	7,80	8,24	12,73
Плотность яйца, г/см <sup>3</sup>	1,0761±0,001	0,56	1,0651	1,0858
Упругая деформация скорлупы, мкм	30,68±1,31	17,11	24	42
Индекс формы,%	80,03±0,79	5,22	73,52	87,10
Пигментация скорлупы, балл	2,73±0,11	3,64	1	4

После были изучены морфо-биофизические качества внутреннего содержимого яиц. Результаты исследования внутренних качеств яиц японской породы представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Анализ внутренних морфо-биофизических качеств яиц, полученных перепелов японской породы**

**Table 2. Analysis of the internal quality of Japanese quails eggs**

Показатели	M±m	Cv,%	Lim	
			min	max
Масса яйца, г	11,03±0,12	7,80	8,24	12,73
Масса белка, г	5,90±0,16	6,84	5,08	7,10
%	53,49			
Масса желтка, г	3,70±0,12	4,36	3,06	4,60
%	33,54			
Масса скорлупы, г	1,43±0,10	7,12	1,25	1,70
%	12,97			
Высота белка, мм	4,23±0,15	6,12	3,21	5,98
Индекс белка, %	9,91±0,51	12,23	6,42	11,13
Индекс желтка, %	46,2±0,45	18,76	36,71	50,36
Пигментация желтка, балл.	3,48±0,08	41,34	2	6
Толщина скорлупы, мкм	217±3,14	11,76	165	270

Анализ полученных данных показал, что более половины яйца занимает белок (53,49%), плотный белок которого имеет очень высокий индекс – 9,91% (при норме 7–8%), а также высокий показатель единиц Хау – 88,49. Соотношение белка и желтка составило 1,595. Индекс желтка незначительно (на 1,2%) превышал стандартный для яиц показатель (45%). Следует отметить, что желток яиц имел слабую пигментацию. Средняя пигментация желтка (по шкале Роше) у исследуемых яиц соответствовала 3,48 баллам. Обращает на себя внимание тонкая скорлупа: ее толщина колебалась от 165 до 270 мкм и в среднем составила 217 мкм. В процессе исследования были рассчитаны коэффициенты корреляции массы яйца с массой белка, желтка и скорлупы. Они оказались высокими, положительными ( $r=0,83; 0,80; 0,32$  соответственно) и достоверными ( $P \geq 0,999$ ). Полученные коэффициенты корреляции показывают, что при селекции птицы по массе яиц в их структуре в основном будут происходить изменения за счет белковой фракции яиц и желтка.

Еще одной породой яичного направления у перепелов является порода селадон. Это порода, появившаяся в нашей стране недавно, обладает уникальной для перепелиных яиц окраской скорлупы, которая может варьировать от бледно- до ярко-голубой и практически лишена коричневых пятен на поверхности, характерных для перепелиных яиц. Среди перепеловодов-любителей существует мнение о высоких товарных и питательных качествах этих яиц. В связи с этим были изучены качества интактных яиц породы селадон. Результаты исследования представлены в табл. 3.

Таблица 3. Определение морфо-биофизических качеств интактных яиц породы перепелов селадон

Table 3. Determination of morpho-biophysical qualities of intact eggs of the Celadon quail breed

Показатели	M±m	Cv,%	Lim	
			min	max
Масса яйца, г	12,54±0,18	7,94	10,69	13,51
Плотность яйца, г/см <sup>3</sup>	1,0653±0,002	1,06	1,0459	1,0772
Упругая деформация скорлупы, мкм	24,85±1,09	24,08	16	46
Индекс формы, %	76,07±0,60	4,37	70,27	81,81
Пигментация скорлупы, балл	2,2±0,17	43,69	1	4

Оценка качества яиц породы селадон показала, что яйца обладали средней для перепелиных яиц массой, имели почти средние величины упругой деформации скорлупы и индекса формы. Однако обращает на себя внимание значительная изменчивость ( $Cv=24,08\%$ ) упругой деформации у этой породы, что может свидетельствовать о слабой селекционной работе по качеству скорлупы.

Изучение внутренних качеств яиц породы селадон показало высокую изменчивость исследуемых показателей внутренних качеств яиц. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Полученные результаты указывают на необходимость дальнейшей селекционной работы с породой селадон в направлении совершенствования однородности показателей внутренних качеств яиц.

В процессе исследования были рассчитаны коэффициенты корреляции массы яйца с массой белка, желтка и скорлупы. Они оказались высокими, положительными ( $r = 0,89; 0,85; 0,72$  соответственно) и достоверными ( $P \geq 0,999$ ), что теоретически должно облегчить селекцию птицы по совершенствованию структуры яиц у этой породы.

Таблица 4. Анализ внутренних морфо-биофизических качества яиц, полученных от перепелов породы селадон

Table 4. Analysis of the internal quality of eggs obtained from quails of the Celadon breed

Показатели	M±m	Cv,%	Lim	
			min	max
Масса яйца, г	12,54±0,18	7,94	10,69	13,51
Масса белка, г %	7,18±0,10 57,26	8,25	6,09	8,23
Масса желтка, г %	3,99±0,07 31,82	10,92	3,31	4,75
Масса скорлупы, г %	1,37±0,02 10,92	10,08	1,12	1,54
Высота белка, мм	3,95±0,12	17,73	2,8	5,5
Индекс белка, %	9,14±0,37	22,46	6,29	13,75
Индекс желтка, %	46,34±0,82	10,46	34,07	50,00
Пигментация желтка, балл.	3,7±0,09	14,45	3	5
Толщина скорлупы, мкм	218±3,63	9,14	170	260

Полученные при сравнении морфо-биофизических качеств яиц исследуемых пород (старой – японской и новой – селадон) данные показывают возможность использования обеих пород при их улучшении.

Сравнительный анализ качеств интактных яиц двух пород представлен в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительная оценка морфо-биофизических качества интактных яиц исследуемых пород

Table 5. Comparative assessment of the quality of intact eggs of the studied breeds

Показатели	Породы перепелов		В среднем по яичному направлению
	японская	селадон	
Масса яйца, г	11,03±0,12	12,54±0,18	11,79±0,21
Плотность яйца, г/см <sup>3</sup>	1,0761±0,001	1,0653±0,002	1,0707±0,002
Упругая деформация скорлупы, мкм	30,68±1,31	24,85±1,09	27,77±1,12
Индекс формы, %	80,03±0,79	76,07±0,60	78,05±0,74

Анализ биофизических качеств показал, что яйца породы селадон оказались достоверно ( $P \geq 0,999$ ) крупнее (на 13,69%) яиц, полученных от несушек японской породы, что, вероятно, было заложено генетически в процессе создания породы.

Качество скорлупы у яиц породы селадон было также достоверно ( $P \geq 0,99$ ) выше на 19%, а индекс формы был более близок к нормальному значению (73–74%) по сравнению с более округлыми яйцами японской породы.

Сравнительный анализ внутренних качеств яиц исследуемых пород показал значительные их отличия: см. рис. 1.

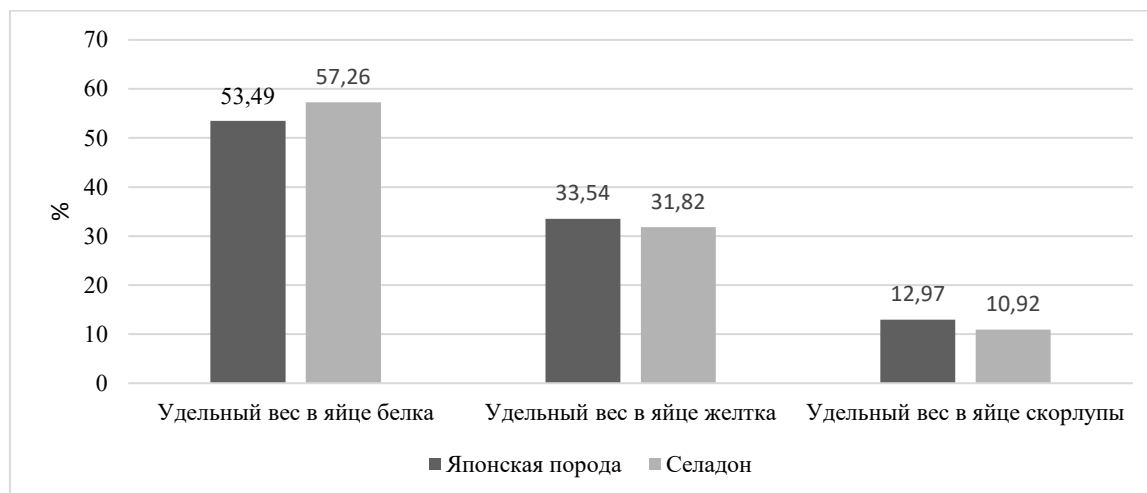


Рисунок 1. Сравнительная характеристика структуры яиц у исследуемых пород  
Figure 1. Comparative characteristics of studied breeds egg structure

Графический анализ свидетельствует, что в яйцах породы селадон на 3,77% больше белка, но на 1,72% меньше желтка и на 2,05% – скорлупы. Исследованиями было установлено, что отношение массы белка к массе желтка в яйцах японской породы составило 1,6, что оказалось на 12,5% ниже, чем у селадонов (1,8). Это, возможно, оказалось следствием (рис. 1) изменения массы яиц у последних за счет увеличения белковой фракции. Таким образом, питательная и товарная ценность яиц породы селадон ниже, и эти показатели требуют дальнейшего улучшения, что подтверждается и качественными показателями белка, желтка и скорлупы.

Анализ полученных данных (табл. 6) показывает, что высота белка в яйцах японской породы оказалась больше на 6,6%, чем у породы селадон, что оказало влияние на получение более высоких (на 2,93) значений единиц Хау, а это свидетельствует о большей питательной ценности белка в яйцах японской породы перепелов.

Таблица 6. Сравнительная характеристика внутренних морфо-биофизических качеств яиц исследуемых пород  
Table 6. Comparative characteristics of internal morpho-biophysical qualities of eggs of the studied breeds

Показатели	Породы перепелов		В среднем по яичному направлению
	японская	селадон	
Высота белка, мм	4,23±0,15	3,95±0,12	4,09±0,20
Индекс белка, %	9,91±0,51	9,14±0,37	9,52±0,68
Индекс желтка, %	46,2±0,45	46,34±0,82	46,27±0,77
Пигментация желтка, балл.	3,48±0,08	3,7±0,09	3,59±0,11
Толщина скорлупы, мкм	217±3,14	218±3,63	217,5±3,72
Отношение массы белка к массе желтка	1,6±0,02	1,8±0,03	1,7±0,03

Более высокие показатели пигментации желтка и толщины скорлупы у селадонов, возможно, объясняются более низкой яйценоскостью птицы, и в большинстве межпородная разница по этим показателям была статистически недостоверной.

**Выводы.** Исследования показали, что морфо-биофизические качества яиц японской породы (масса желтка, отношение массы белка к массе желтка, высота белка и единицы Хау) свидетельствовали о более высокой питательной ценности по сравнению с качеством яиц, полученных от перепелов породы селадон. Однако яйца последних превосходили японскую породу по массе и качествам скорлупы (упругая деформация и толщина), несмотря на ее меньший удельный вес в яйцах. Таким образом, это указывает на некоторую несбалансированность генотипа породы селадон, требующего улучшения по морфо-биофизическим качествам яиц.

### Список источников литературы

1. Чеснокова А.М. Особенности пищевой ценности и оценка качества куриных, перепелиных, гусиных и утиных яиц / А. М. Чеснокова, А. М. Агапкин // Академическая публицистика. – 2023. – № 1-1. – С. 75–78.
2. Щербатов В.И. Качество перепелиных яиц / В. И. Щербатов, К. Н. Бачинина, С. Хурэлчулуун, Н. Г. Разаева // Инновации в повышении продуктивности сельскохозяйственных животных: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ. – 2017. – С. 249–252.
3. Авдошина О.М. Сравнительный анализ морфометрических и биохимических показателей перепелиных яиц / О. М. Авдошина, С. Н. Пигарёва, Л. В. Клетникова, Н. Н. Якименко, А. Н. Мартынов, В. М. Хозина // Успехи современной науки и образования. – 2015. – № 5. – С. 25–28.
4. Бачинина К.Н. Морфологические показатели яиц перепелов разного направления продуктивности / К. Н. Бачинина, В. Г. Ходнев // Современное развитие животноводства в условиях становления цифрового сельского хозяйства (к 80-летию со дня рождения доктора с.-х. наук, профессора Приступы Василия Николаевича): материалы международной научно-практической конференции, посвященной 180-летию ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет». – 2020. – С. 14–17.
5. Дымков А.Б. Морфологический, биохимический и аминокислотный состав яиц перепелов в зависимости от направления продуктивности и возраста / А. Б. Дымков, Е. К. Рехлецкая, Л. Н. Лазарец, Л. А. Богданова, Л. А. Орехова // Птицеводство. – 2019. – № 9–10. – С. 86–93.
6. Щербатов, В.И. Оценка инкубационных качеств перепелиных яиц по пигментации скорлупы / В. И. Щербатов, С. Г. Старикова // Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2019. – № 2. – С. 288–291.
7. Дымков А.Б. Породная дифференциация перепелов (*coturnix japonica*) по морфологическим признакам яйца / А. Б. Дымков, В. И. Фисинин // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57, № 4. – С. 694–705.
8. Alasahan, S. The impact of eggshell colour and spot area in Japanese quails: I. eggshell temperature during incubation and hatching results / S. Alasahan, G. Copur Akpınar, S. Canogullari, M. Baylan // Revista Brasileira de Zootecnia, 2016, vol. 45, № 5, pp. 219–229.
9. Spasevski N. Alternative sources of pigments and fatty acids in laying hens' diet / N. Spasevski, T. Peulić, V. Banjac, S. Rakita, O. Đuragić / 26-th World's Poultry Congress, abstracts selected in 2022, pp. 178–179.
10. Kralik Z. Selenium and physical-chemical indicators of hen's egg quality / Z Kralik, G. Kralik, M. Košević, M. Samardžić, 26th World's Poultry Congress, abstracts selected in 2022, pp. 177–178.
11. Васильева, Л.Т. Современные методы оценки яиц: методические указания к практическим занятиям для обучающихся по направлению подготовки 36.04.02 Зоотехния / Л. Т. Васильева, А. Г. Бычаев. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 37 с.

### References

1. Chesnokova A.M., Napkin A.M. (2023), 'Features of nutritional value and assessment of the quality of chicken, quail, goose and duck eggs', *Academic journalism*, № 1-1, pp. 75–78 (in Russ.).
2. Shcherbatov V.I., Bachinina K.N., Khurelchuluun S., Razaeva N.G. (2017), 'Quality of quail eggs', *Innovations in increasing the productivity of farm animals: Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the Kuban GAU*, pp. 249–252 (in Russ.).
3. Avdoshina O.M., Pigareva S.N., Kletnikova L.V., Yakimenko N.N., Martynov A.N., Khozina V.M. (2015), Comparative analysis of morphometric and biochemical indicators of quail eggs, *Successes of modern science and education*, № 5, pp. 25–28 (in Russ.).
4. Bachinina K.N., Khodnev V.G. (2020), Morphological indicators of quail eggs of different directions of productivity *Modern development of animal husbandry in the context of the formation of digital agriculture (on the 80th anniversary of the birth of Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Pristuly Vasilya Nikolaevicha): Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 180th anniversary of the FSBEI HE "Don State Agrarian University"*, pp. 14-17 (in Russ.).
5. Dymkov A.B., Rekhletskaia E.K., Lazarets L.N., Bogdanova L.A, Orekhova L.A. (2019), Morphological, biochemical and amino acid composition of quail eggs depending on the direction of productivity and age, *Poultry farming*, № 9-10, pp. 86-93 (in Russ.).
6. Shcherbatov, V.I., Starikova S.G. (2019), Assessment of the incubation qualities of quail eggs by shell pigmentation, *Collection of scientific works of SKNIIZH*, № 2, pp. 288-291 (in Russ.).
7. Dymkov A.B., Fisinin V.I. (2022), Breed differentiation of quails (*coturnix japonica*) according to the morphological characteristics of the egg, *Agricultural biology*, vol. 57, № 4, pp. 694-705 (in Russ.).
8. Alasahan, S., Copur Akpinar G., Canogullari S., Baylan M. (2016), The impact of eggshell colour and spot area in Japanese quails: I. eggshell temperature during incubation and hatching results, *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 45, № 5, pp. 219-229.
9. Spasevski N., Peulić T., Banjac V., Rakita S., Đuragić O (2022), Alternative sources of pigments and fatty acids in laying hens' diet, *26th World's Poultry Congress*, abstracts selected in 2022, pp. 178-179.
10. Kralik Z., Kralik G., Košević M., Samardžić M. (2022), Selenium and physical-chemical indicators of hen's egg quality, *26th World's Poultry Congress*, abstracts selected in 2022, pp. 177-178.
11. Vasilyeva, L.T., Bychaev A.G (2021), Modern methods of egg evaluation: guidelines for practical classes for students in the field of training 36.04.02 Zootechny / L.T. Vasilyeva, St. Petersburg: SPbSAU, 37 p. (in Russ.).

### Сведения об авторах

**Васильева Людмила Трофимовна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <https://orcid.org/0000-0002-7941-7786>, SPIN-код: 1650-7162; e-mail: ludamila51@mail.ru.

**Морозов Виталий Юрьевич**, доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой крупного животноводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <https://orcid.org/0000-0002-3688-1546>, SPIN-код: 7773-7257; ; e-mail: supermoroz@mail.ru.

**Бычаев Александр Георгиевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <https://orcid.org/0000-0001-8073-7421>, SPIN-код: 5435-6585; SPIN-код: 5435-6585; ; e-mail: bit131@yandex.ru.

### Information about the authors

**Lyudmila T. Vasilyeva**, Cand. Sci. (Agric.) Associate Professor, Associate Professor of the Department of Poultry and Small Animal Husbandry named after P. P. Tsarenko, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-7941-7786>, SPIN-code: 1650-7162; ; e-mail: ludamila51@mail.ru.



**Vitaly Y. Morozov**, Doc. Sci. (Vet.), Professor, Head of the Department of large livestock, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"; <https://orcid.org/0000-0002-3688-1546>, SPIN-code: 7773-7257; ; e-mail: supermoroz@mail.ru.

**Alexander G. Bychaev**, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Poultry and Small Animal Husbandry named after P.P. Tsarenko, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"; <https://orcid.org/0000-0001-8073-7421>, SPIN-код: 5435-6585; SPIN-code: 5435-6585; ; e-mail: bit131@yandex.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 27.09.2023; одобрена после рецензирования 11.11.2023; принята к публикации.*

*The article was submitted to the editorial office 27.09.2023; approved after reviewing 11.11.2023; accepted for publication.*

Научная статья

УДК: 636.1.082

Код ВАК 4.2.4

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-80-89

## ИЗУЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ВСАДНИКОВ И АНАЛИЗ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЛОШАДЕЙ, ВЫСТУПАЮЩИХ В ВЫЕЗДКЕ В ГРУППАХ «А» И «Б»

**А.В. Дорофеева<sup>1</sup>, Т.Н. Головина<sup>2</sup> ✉, В.Ю. Морозов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства,  
Рязанская область, Рыбновский р-н, поселок Дивово; Россия; [rustrak2007@yandex.ru](mailto:rustrak2007@yandex.ru),

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия;

✉ [konikurs@mail.ru](mailto:konikurs@mail.ru)

**Реферат.** По мнению Д.Я. Гуревича, выездка – это обучение молодой лошади, выработка у неё условных рефлексов, обеспечивающих равновесие под всадником и послушание средствам управления; обязательное условие успешного использования лошади во всех видах конного спорта [7]. Без высокого уровня выездки невозможно развитие любой дисциплины конного спорта. Последние десятилетия у спортсменов-конников нет достойных результатов в соревнованиях на международной арене. Главной причиной этого называется недостаточно высокий уровень лошадей отечественной селекции. Однако на последней Олимпиаде-2020 лучший результат (31 место) среди членов сборной по выездке получен на лошади, рождённой в России. В сезоне 2021 г. в выездке выступало 237 лошадей тракененской породы, из которых

на уровне Больших езд выступало 4. В сезоне 2022 г. в соревнованиях по выездке стартовало 59 лошадей будённовской породы, из которых 6 дошли до уровня «Sc-Sb». Эти данные говорят о высоком потенциале отечественных пород. В статье отмечается, что центрами выездки в России являются Москва и Московская область. Всадники группы «А» имеются только в трёх федеральных округах России, группы «Б» – в семи. Доля импортных лошадей у всадников групп «А» и «Б» является подавляющей, и по породному составу эти лошади соответствуют мировой моде: лидирующей по численности и в нашей стране, и на мировых турнирах является голландская полукровная. Среди отечественных лошадей популярными остаются траккененская, ганноверская и русская верховая породы. Невысокие результаты российских профессионалов выездки на лошадях лучших пород Европы говорят о том, что проблема неудач кроется не в лошадях, а в серьёзных недостатках отечественной системы подготовки всадников.

**Ключевые слова:** выездка, конный спорт, Большой приз, Малый приз, траккененская порода

**Цитирование.** Дорофеева А.В., Головина Т.Н., Морозов В.Ю. Изучение количественного состава всадников и анализ породного состава лошадей, выступающих в выездке в группах «А» и «Б» // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 80–89, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-80-89.

## STUDYING THE QUANTITATIVE COMPOSITION OF RIDERS AND ANALYSIS OF THE BREED COMPOSITION OF HORSES PERFORMING IN DESSAGE IN GROUPS «A» AND «B»

A.V. Dorofeeva<sup>1</sup>, T.N. Golovina<sup>2</sup> ✉, V.Y. Morozov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Horse Breeding,  
Ryazan Region, Rybnovsky district, Divovo village; Russia;

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University,  
St. Petersburg, Pushkin, Russia;

✉ konikurs@mail.ru

**Abstract.** According to D.Ya. Gurevich, dressage is the training of a young horse, the development of conditioned reflexes in it, ensuring balance under the rider and obedience to the controls. A prerequisite for the successful use of a horse in all types of equestrian sports [7]. Without a high level of dressage, the development of any equestrian discipline is impossible. In recent decades, equestrian athletes have not had decent results in competitions on the international stage. The main reason for this is the insufficiently high level of horses of domestic selection. However, at the last Olympics 2020, the best result (31st place) among members of the dressage team was obtained on a horse born in Russia. In the 2021 season, 237 horses of the Trakehner breed competed in dressage, of which 4 competed at the level of large riding. In the 2022 season, 59 horses of the Budyonnovsk breed started in dressage competitions, of which 6 reached the “Sc-Sb” level. These data indicate the high potential of domestic breeds. The article notes that the centers of dressage in Russia are Moscow and the Moscow Region. Riders of group “A” are available only in three federal districts of Russia, group “B” – in seven. The share of imported horses among riders of groups “A” and “B” is overwhelming, and in terms of breed composition, these horses correspond to the world fashion, which is leading in

number in our country, and at world tournaments is the Dutch half-bred. Among domestic horses, the Trakehner, Hanoverian and Russian riding breeds remain popular. The low results of Russian dressage professionals on horses of the best breeds of Europe indicate that the problem of failure lies not in the horses, but in serious shortcomings in the domestic system of training riders.

**Keywords:** *dressage, equestrian, Grand Prize, Sankt Georg, Trakehner breed, Hanoverian breed*

**Citation.** Dorofeeva A.V., Golovina T.N., Morozov V.Y. (2023), 'Studying the quantitative composition of riders and analysis of the breed composition of horses performing in dressage in groups "A" and "B"', *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no. 4, pp. 80–89, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-80-89.

**Введение.** На последней Олимпиаде в Токио в 2020 г. лучший результат среди российских всадниц показала И. Потураева на Мистере Икс от тракененского Эгеюса – 31 место из 57. А. Максакова на голландском Боженгелсе и Т. Костерина на ганноверской Дьяволессе стали соответственно 53 и 57 [1, 2, 3]. Анализ происхождения лошадей участников токийской Олимпиады показал, что наиболее широко в выездке представлена голландская полукровная порода – KWPN – 19 голов (33%), второй стала ганноверская – 11 голов (19,3%). Чемпионкой стала тракененская кобыла, рождённая в Германии – Далера под седлом Д. фон Бредов – Верндль. [4] Эта пара превзошла успех советской всадницы Е. Петушковой и тракененского Пепла, завоевав золото в личном и командном зачётах [5]. После Пепла отечественные тракененские лошади добивались крупных успехов только под управлением европейских всадников.

В 2022 г., согласно всемирному рейтингу племенных книг, первое место занимает голландская полукровная порода, при этом в числе лидеров породы – сын тракененского Easy Game, Hermes N.O.P. На втором месте племенная ольденбургской породы, и среди её лучших выездковых лошадей – дочь тракененского Грибальди, Atterupgaard's Orthilia [6].

Лучшим результатом по выездке на Олимпийских играх последних десятилетий у российских всадников стало 6 место А. Кореловой на орловском рысаке Балагуре в 2008 г. [7]. Как известно, большие достижения в конном спорте иллюстрируются рейтингом WBFSH, в котором можно увидеть положение племенных книг (пород), жеребцов-производителей, всадников и заводчиков [8,9]. Данный рейтинг прежде всего является ориентиром для покупателей, а значит, работает на развитие коннозаводства каждой конкретной страны. Но есть несколько условий для успешного использования очень дорогих лошадей, купленных на аукционах. Всадник должен быть носителем навыков, культуры и мировоззрения такой же школы выездки, как и тот, кто несёт победные баллы своим студбукам. Возможно поэтому, приобретая подготовленных за рубежом представителей лучших пород Европы, наши всадники не могут достойно представлять страну на международном уровне.

**Цель исследования** – определение численности всадников, занимающихся выездкой в группах «А» и «Б» в нашей стране. Изучение количества и породного состава лошадей, выступающих в этих группах.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Материалом для исследования послужил рейтинг equestrian.ru по выездке на февраль 2023 г., составленный на основании технических результатов соревнований за 12 месяцев предыдущих выступлений всадника и

лошади. Рейтинг опубликован в сети Интернет на электронном ресурсе «Equestrian.ru, конное обозрение» [10].

Данные обработаны биометрически с помощью методов вариационной статистики с использованием программы MS Excel 2010.

**Результаты исследований.** Рейтинг equestrian.ru включает 5 групп всадников, различающихся по сложности и возрасту. Группа «А» – высшая форма сложности, включающая езды Большого, Среднего № 2, КЮРа Большого приза. Группа «Б» – Малый, Средний № 1 и КЮР Среднего № 1 приза. Есть также группы «Дети», «Юноши» и «Юниоры» [10].

Всего в списке 1809 лошадей, выступавших во всех уровнях соревнований по выездке. Больше всего в выездке лошадей, рождённых в Российской Федерации – 62,1%, на втором месте Германия – 14,8%, на третьем – Голландия – 9% (табл. 1).

Таблица 1. Распределение лошадей по странам рождения и уровням соревнований рейтинга  
Table 1. Distribution of horses by country of birth and levels of rating competitions

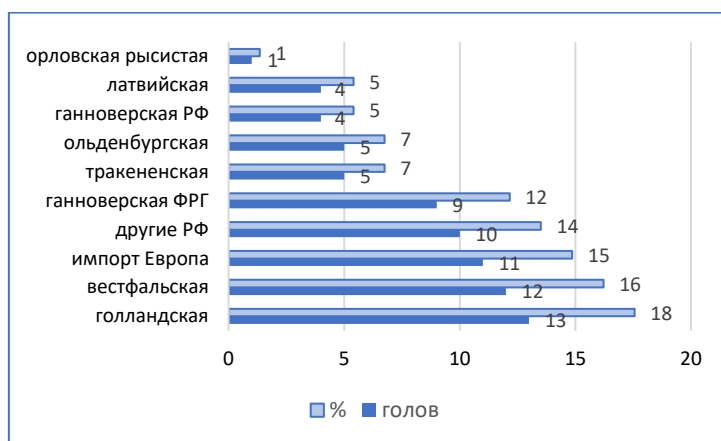
Страна	Всего		А		Б		Дети		Юниоры		Юноши	
	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%
РФ	1120	62,1	20	27,0	142	<b>41,5</b>	410	<b>73,5</b>	116	<b>58</b>	432	68,0
Германия	270	14,8	28	<b>37,8</b>	90	26,3	42	7,5	33	16,5	77	12,1
Голландия	162	9,0	15	20,3	43	12,6	44	7,9	24	12	36	5,7
Европа и К	80	4,1	5	6,8	16	4,7	26	4,7	4	2	29	4,6
Украина	65	3,9	-	0,0	22	6,4	14	2,5	12	6	17	2,7
Беларусь	62	3,4	2	2,7	14	4,1	14	2,5	4	2	28	4,4
Латвия	50	2,8	4	5,4	15	4,4	8	1,4	7	3,5	16	2,5
Итого:	1809	100	74	100	342	100	558	100	200	100	635	100

В классе «А» на долю лошадей, рождённых в Германии, приходится 37,8%, в Голландии – 20,3%, других стран Европы – 6,8%, что в сумме составляет 64,9%. Доля лошадей, рождённых в России, – 27%. Данный факт легко объясним массовым развитием этого вида конного спорта в Европе, а значит большим рынком сбыта, особенно в странах – лидерах конного спорта и коннозаводства – Германии и Голландии.

В группе «Б» число лошадей, рождённых в России, составляет 41,5% – 142 головы, это самый высокий результат, но учитывая 26,3% лошадей, рождённых в Германии, 12,6% в Голландии, 4,7% в странах Европы и 4,4% в Латвии, получаем 48% импортных лошадей, что превышает число рождённых в России.

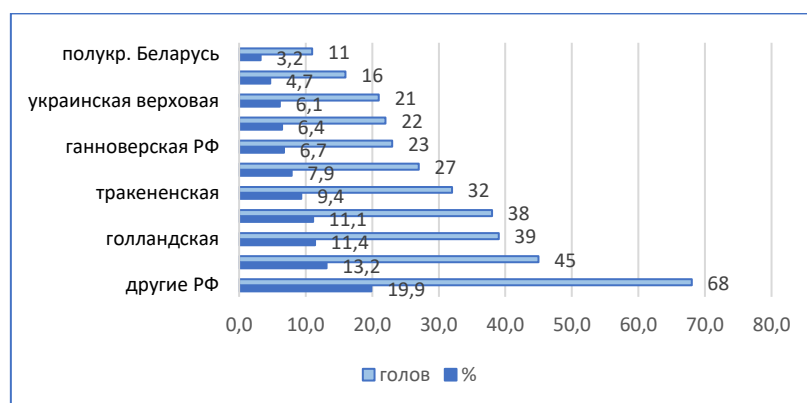
В профессиональном спорте, то есть в группах «А» и «Б», преобладают импортированные лошади: соответственно 70% и 48% (табл. 1). В детском, юношеском и юниорском спорте выступает больше лошадей, рождённых в России.

На рис. 1 среди лошадей группы «А» больше всего голландских верховых (KWPN) – 18%. На втором месте вестфальские лошади (16%). Третье место у ганноверской породы Германии – 12%. Четвёртое место делят ольденбургские и тракененские лошади – 7%.



**Рисунок 1. Породная принадлежность лошадей группы «А»**  
**Figure 1. Breed affiliation of «A» group horses**

Такая же картина наблюдается в группе «Б» (рис. 2), но с добавлением русской и украинской верховых пород. Увеличивается число ганноверских лошадей, рождённых в России, – 23%, а также тракененских – до 32%. Среди импортированных в лидерах по-прежнему голландская верховая – 39%, за ней ганновераны Германии – 38%, затем ольденбургские – 27% и латвийские – 16%. В составе группы «другие РФ» есть рысистые и полукровные помеси, орловский и русский рысак, 5 будённовских, 4 ахалтекинских и 1 вятский. А в группе импорта из Европы вместе с датской, мекленбургской, голштинской и другими, присутствуют экзотические фризские, андалузские и лузитано.



**Рисунок 2. Породная принадлежность лошадей группы «Б»**  
**Figure 2. Breed affiliation of «B» group horses**

Всадники группы «А» имеются в трёх федеральных округах России, при этом из 55 всадников 42 (76%) выступают за Москву и Московскую область. Данное обстоятельство чётко определяет границы развития этого вида спорта только в одном регионе, что естественно сопровождается наличием здесь тренерского и обслуживающего персонала, условий для тренинга и выступлений. Из 64 лошадей, выступающих в ЦФО по группе «А», 69% куплено за границей.

В соревнованиях группы «Б» участвуют всадники 7 федеральных округов (табл. 3). Всего нами учтено 311 всадников и 342 лошади. Наибольшая часть из них предсказуемо

представляет ЦФО (Центральный федеральный округ) – 193 человека (62%). На втором месте СЗФО (Северо-западный федеральный округ) – 54 всадника (17%), и на третьем – ПФО (Приволжский федеральный округ) – 30 человек (10%). Число всадников Уральского, Южного, Сибирского и Дальневосточного округов не превышает 5% из каждого округа.

Таблица 2. Численность всадников и лошадей, выступающих в группе «А» по Федеральным округам и странам рождения лошадей  
Table 2. The number of riders and horses performing in group «A» by Federal districts and countries of birth of horses

Округ	Регион	Всадников		Лошадей		Страна рождения		
		чел.	%	гол.	%	РФ	Белар.	Европа
						гол.	гол.	гол.
ЦФО	Москва	20	36	26	35	8	-	18
	Московская обл.	22	40	32	43	8	2	22
	Калужская обл.	3	5	4	5	2	-	2
	Ярославская обл.	2	4	2	3		-	2
<b>Итого</b>		<b>47</b>	<b>85</b>	<b>64</b>	<b>86</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>44</b>
СЗФО	С.-Петербург	5	9	7	9	-	-	7
	Вологодская обл.	1	2	1	1	-	-	1
<b>Итого</b>		<b>6</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8</b>
ПФО	Нижегородская обл.	2	4	2	3	1	-	1
<b>Итого</b>		<b>55</b>		<b>74</b>		<b>19</b>	<b>2</b>	<b>53</b>

Итак, флагманом нашей страны по группе «Б» является Московская область, за которую выступает 95 из 311 всадников. Внутри ЦФО на эту область приходится 49,5% всадников выездки. На втором месте – Москва и на третьем – Ленинградская область. Ситуация в других регионах ЦФО довольно печальная – 1–3 человека, за исключением Ярославской области с 5 всадниками. В Приволжском ФО лидирует Нижегородская область – 16 человек, здесь популяризации выездки способствуют деятельность КСК «Пассаж» и ежегодный командный Чемпионат страны (см. табл. 3).

Таблица 3. Численность всадников и лошадей, выступающих в группе «Б»  
по Федеральным округам и странам рождения лошадей  
Table 3. The number of riders and horses performing in group «B» by Federal districts  
and countries of birth of horses

Округ	Область, край, Республика	Всадников		Лошадей		Лошадей по стране рождения, голов		
		n	%	n	%	РФ	Бел/Укр	Европа
ЦФО	Московская	95	49,5	109	31,9	26	13	70
	Москва	84	43,8	90	26,3	36	8	46
	Ивановская	3	1,6	3	0,9	2		1
	Калужская	-	0	3	0,9	1		2
	Тульская	2	1	2	0,6	2		
	Рязанская	1	0,5	1	0,3	1		
	Смоленская	1	0,5	1	0,3			1
	Костромская	1	0,5	1	0,3	1		
	Ярославская	5	2,6	11	3,2	4	1	6
	Воронежская	1	0,5	-				
Итого:		193	62	221	65	73	22	126
СЗФО	Ленинградская	29		27	7,9	6	4	17
	С.-Петербург	18		19	5,6	10	2	7
	Вологодская	5		5	1,5	5		
	Калининградская	2		2	0,6	1		1
Итого:		54	17	53	16	22	6	25
ПФО	Нижегородская	16		16	4,7	12	1	3
	Татарстан	6		5	1,5	4		1
	Кировская	2		4	1,2	1	1	2
	Пермский	3		4	1,2	3		1
	Башкирия	2		2	0,6		2	
	Самарская	1		1	0,3	1		
Итого:		30	10	32	9	21	4	7
УФО	Свердловская	4		4	1,2	3		1
	Тюменская	2		2	0,6	1	1	
	Челябинская	4		4	1,2	2	1	1
Итого:		10	3	10	3	6	2	2
ЮФО	Ростовская	9		10	2,9	5	1	4
	Краснодарский	3		4	1,2	3	1	
	Адыгея	1		1	0,3	1		
Итого:		13	4	15	4	9	2	4
СФО	Новосибирская	1		1	0,3			1
	Красноярский	5		5	1,5	5		
Итого:		6	2	6	2	5		1
ДФО	Хабаровский	4		4	1,2	4		
	Амурская	1		1	0,3	1		
Итого:		5	2	5	1	5		
Всего в России:		311		342		41	36	165

Если говорить о странах происхождения лошадей в разных регионах, то в ЦФО и СЗФО преобладают лошади, купленные в Европе, в остальных регионах – лошади, рождённые в России. Из отечественных пород наиболее популярными в группах А и Б остаются траккенская и ганноверская породы (табл. 2, 3).

**Выводы:**

1. В РФ на турнирах всех уровней и возрастных групп выступают 1809 лошадей, из них 62% рождены в России, 14,8% в Германии и 9,0% в Голландии.
2. В группах «А» и «Б» выступают в основном импортные лошади – 70% и 48%. Лошади отечественной селекции востребованы в группах: «Дети» – 74%, «Юноши» – 68% и «Юниоры» – 58%.
3. Среди 74 лошадей группы «А» в Германии рождено 37,8%, в России 27% и в Голландии 20,3%, в т. ч. 18% лошадей породы KWPN.
4. Среди 342 лошадей группы «Б» в РФ рождены 41,5%, в Германии 26,3% и в Голландии 12,6%. В этой группе достаточно лошадей, ввезённых из Украины (6,4%) и Беларуси (4,1%). В целом импорт из стран Европы здесь составляет 48%, в т. ч. KWPN – 39%.
5. Из пород, разводимых в России, наиболее широко представлены траккенская и ганноверская породы.
6. В соревнованиях группы «А» участвуют всадники трёх федеральных округов России, в группе «Б» – семи. В обоих видах наибольшее число всадников сосредоточено в Москве и Московской области. В группе «А» 76% всадников выступают за Москву и Московскую область, в группе «Б» – 58%.

**Список источников литературы**

1. Дорофеева, А.В., Дубровина, Н.В., Подобаева, Н.В., Самандеева, Е.Г. Тракены в выездке. Сезон 2021 г. // Коневодство и конный спорт. – 2023. – № 3. – С. 35–39.
2. Тарасова, Н.В., Николаева, А.А., Киборт, М.М. Анализ выступлений лошадей будённовской и донской пород в соревнованиях по конному спорту за 2022 г. // Коневодство и конный спорт, 2023. – № 3. – С. 32–35.
3. Токио 2020: результаты. URL: <https://olympdeka.ru/olymp/tokyo2020/event/6289.html> (дата обращения: 20.03.2023).
4. Дорофеева, А.В., Политова, М.А. Анализ происхождения лошадей участников соревнований по выездке на Олимпийских играх в Токио 2021 г. // Коневодство и конный спорт. – 2021. – № 5. – С. 28–30.
5. Бегунова, А.И. В звонком топоте копыт... Прошлое и настоящее советского конного спорта. – М.: Физкультура и спорт, 1989. – 193 с.
6. Studbook-rankings – URL: <https://www.wbfs.com/studbook-rankings> (дата обращения: 18.03.2023).
7. Хромова, О. Время собирать олимпийские камни. // Коневодство и конный спорт. – 2008. – № 5. – С. 32–36.
8. Дорофеева, Н.В. Лучшие спортивные лошади траккенской породы по результатам всемирного рейтинга 2008-2009 гг. // Коневодство и конный спорт, 2010. – № 1. – С. 14–15.
9. Дубровина, Н.В., Самандеева, Е.Г., Подобаева, Н.В. Анализ рейтинга лучших конкурных жеребцов-производителей Германии по результатам выступления потомства в большом спорте в сезоне 2019 г. // Коневодство и конный спорт. – 2020. – № 3. – С. 37–40.
10. Рейтинг по выездке equestrian.ru: спорт. – URL: <https://www.equestrian.ru/sport/dressage/ratings/ВТ/> (дата обращения: 20.02.2023).



### References

1. Dorofeeva A.V., Dubrovina N.V., Podobaeva N.V., Samandeeva E.G. (2023), 'Trakens in dressage. Season 2021', *Horse breeding and equestrian sports*, 3, pp. 35–39.
2. Tarasova N.V., Nikolaeva A.A., Kibort M.M. (2023), 'Analysis of the performances of horses of the Budenovsky and Don breeds in equestrian competitions for 2022', *Horse breeding and equestrian sport*, 3, pp. 32–35.
3. Tokyo 2020: results. Available at: <https://olympteka.ru/olymp/tokyo2020/event/6289.html> (accessed: 20 March 2023).
4. Dorofeeva A.V., Politova M.A. (2021), 'Analysis of the origin of horses participating in dressage competitions at the Olympic Games in Tokyo 2021', *Horse breeding and equestrian sport*, 5, pp. 28–30.
5. Begunova, A.I. (1989), In the ringing clatter of hooves... The past and present of Soviet equestrian sport, ed. M.: Physical culture and sport, 193 p.
6. Studbook-rankings. Available at: <https://www.wbfs.com/studbook-rankings> (accessed: 03 August 2023).
7. Khromova, O. (2008), 'Time to collect Olympic stones', *Horse breeding and equestrian sport*, 5, pp. 32–36.
8. Dorofeeva N.V. (2010), 'The best sports horses of the Trakehner breed according to the results of the world ranking 2008-2009', *Horse breeding and equestrian sport*, 1, pp. 14–15.
9. Dubrovina N.V., Samandeeva E.G., Podobaeva N.V. (2020), 'Analysis of the ranking of the best show jumping stallions in Germany based on the results of their offspring's performance in big-time sports in the 2019 season', *Horse breeding and equestrian sports*, 3, pp. 37–40.
10. Dressage rating equestrian.ru: sport. Available at: <https://www.equestrian.ru/sport/dressage/ratings/BT> (accessed 20 February 2023).

### Информация об авторах

**Дорофеева Анна Витальевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, поселок Дивово, Рязанская область, Россия; <http://orcid.org/0000-0002-9114-3124>, SPIN-код: 8912-9480; ; e-mail: [rustrak2007@yandex.ru](mailto:rustrak2007@yandex.ru).

**Головина Татьяна Николаевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой модернизации технологий в АПК, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-3806-3328>, SPIN-код: 2969-2080; ; e-mail: [konikurs@mail.ru](mailto:konikurs@mail.ru).

**Морозов Виталий Юрьевич**, доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой крупного животноводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-3688-1546>, SPIN-код: 7773-7257; ; e-mail: [supermoroz@mail.ru](mailto:supermoroz@mail.ru).

### Information about the authors

**Anna V. Dorofeyeva**, Cand. Sci. (Agric.) Candidate of Agricultural Sciences, Federal State Budgetary Scientific institution «All-Russian Research Institute of Horse Breeding»; Ryazan Region, Rybnovsky district, Divovo village; Russia; <http://orcid.org/0000-0002-9114-3124>, SPIN-code: 8912-9480; e-mail: [rustrak2007@yandex.ru](mailto:rustrak2007@yandex.ru).

**Tatyana N. Golovina**, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Department of Technology Modernization in Agriculture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", St. Petersburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3806-3328>, SPIN-code: 2969-2080; e-mail: [konikurs@mail.ru](mailto:konikurs@mail.ru).

**Vitaly Y. Morozov**, Doc. Sci. (Vet.), Professor, Head of the Department of Large Livestock Husbandry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", St. Petersburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3688-1546>, SPIN-code: 7773-7257; e-mail: [supermoroz@mail.ru](mailto:supermoroz@mail.ru).

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 17.11.2022; одобрена после рецензирования 25.11.2022; принята к публикации 30.11.2022.*

*The article was submitted 17.11.2022; approved after reviewing 25.11.2022; accepted for publication 30.11.2022.*

Научная статья

УДК 576.8:636.085.52+633.22

Код ВАК: 4.2.4

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-89-97

## МЕТАГЕНОМНЫЕ ПРОФИЛИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПОВЕРХНОСТИ РАСТЕНИЙ И СИЛОСА

Е.А. Ёылдырым<sup>1,2</sup>, Г.Ю. Лаптев<sup>1,2</sup>, Л.А. Ильина<sup>1,2</sup>, В.А. Филиппова<sup>1,2</sup>,  
К.А. Калиткина<sup>1,2</sup> ✉, Е.С. Пономарева<sup>1</sup>, Д.Г. Тюрина<sup>1</sup>, А.М. Спиридонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ»,  
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ kseniya.andreevna@spbgau.ru

**Реферат.** Консервированный корм – искусственно созданная микросистема со сложными внутренними связями и закономерностями динамики. Состав микроорганизмов во многом определяет уровень качества и безопасности готового корма. Отбор многолетнего растительного материала ежи сборной проводили в фазу выхода в трубку на полях животноводческого хозяйства Ленинградской области РФ. Для консервирования использовали химический консервант AIV 2000 Plus («KEMIRA OYJ, Inc.», Финляндия). Секвенирование гена 16S рРНК микробного сообщества филлосферы ежи сборной и готового корма в динамике хранения проводили на секвенаторе MiSeq («Illumina, Inc.», США) с использованием набора MiSeq Reagent Kit v3 («Illumina, Inc.», США). Метод высокопроизводительного метагеномного секвенирования (next generation sequencing, NGS) позволил получить исчерпывающие сведения, которые показали, что состав микробиоты поверхности растений и консервированного корма (силоса) из ежи сборной отличался значительным разнообразием. В составе микрофлоры поверхности растений было найдено 70 родов, в силосе – 51–96 родов бактерий в зависимости от срока ферментации. Состав поверхности растений ежи сборной включал в себя протеобактерий (94,1%), состав силоса – бактериоидов (до 59,5%) и фирмикутов (до 74,9%). На 14–30 сутки ферментации в корме доминировали фирмикуты (до 74,9%), в основном лактобактерии (до 74,76%). Таксономическое разнообразие лактобактерий в ходе ферментации было представлено

*Lactobacillus* spp., *Enterococcus* spp., *Lactococcus* spp., *Pediococcus* spp., семейством *Leuconostocaceae*, а также бактериями некультивируемыми на искусственных питательных средах. Применение традиционных высевов на селективные питательные среды не давало возможности обнаруживать в консервированных кормах из трав бактериоидов, руминококков, лахноспир и селеномонад.

**Ключевые слова:** *силос, ежа сборная, микробиота, ферментация, NGS-секвенирование*

**Цитирование.** Ёылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю., Ильина Л.А., Филиппова В.А., Калиткина К.А. Метагеномные профили бактериальных сообществ поверхности растений и силоса // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023 – 7 (73). – С. 89–97. – doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-89-97.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 23-16-20007 и гранта Санкт-Петербургского научного фонда № 23-16-20007 «Разработка комплексного биотехнологического подхода для биологической защиты КРС и продукции животноводства от патогенных бактерий и их токсинов».

## METAGENOMIC PROFILES OF BACTERIAL COMMUNITIES OF PLANT SURFACE AND SILAGE

Е.А. Yildirim<sup>1,2</sup>, G.Y. Laptev<sup>1</sup>, L.A. Илина<sup>1,2</sup>, V.A. Filippova<sup>1,2</sup>, К.А. Kalitkina<sup>1,2</sup> ✉,  
Е.С. Ponomareva<sup>1</sup>, D.G. Turina<sup>1</sup>, A.M. Spiridonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Limited Liability Company "BIOTROF,"  
Pushkin, St. Petersburg, 196602, Russia;

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University,  
Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia

✉ kseniya.andreevna@spbgau.ru

**Abstract.** Canned feed is an artificially created micro-ecosystem with complex internal relations and regularities of dynamics. The composition of microorganisms largely determines the level of quality and safety of prepared forage. Selection of perennial plant material of "Orchard Grass" was carried out in the tubing phase in the fields of livestock farms in the Leningrad Region of the Russian Federation. Chemical preservative AIV 2000 Plus ("KEMIRA OYJ, Inc.", Finland) was used for preservation. Sequencing of 16S rRNA gene of the microbial community of the phyllosphere of orchard grass phyllosphere and ready feed in the dynamics of storage was performed on a MiSeq sequencer ("Illumina, Inc.", USA) using MiSeq Reagent Kit v3 ("Illumina, Inc.", USA). The method of high-throughput metagenomic sequencing (next generation sequencing, NGS) allowed us to obtain comprehensive data, which showed that the composition of the microbiota of plant surface and preserved forage (silage) from orchard grass was characterised by significant diversity. 70 genera were found in the composition of plant surface microflora and 51-96 genera of bacteria in silage, depending on the fermentation period. The composition of the plant surface of harvested orchard grass plants included Proteobacteria (94.1%), the composition of silage – Bacteroides (up to 59.5%) and Firmicutes (up to 74.9%). On 14-30 days of fermentation, the forage was dominated by Firmicutes (up to 74.9%), mainly *Lactobacillus* (up to 74.76%). Taxonomic diversity of lactobacilli

during fermentation was represented by *Lactobacillus* spp., *Enterococcus* spp., *Lactococcus* spp., *Pediococcus* spp., family *Leuconostocaceae*, as well as bacteria not cultured on artificial nutrient medium. The use of traditional seeding on selective nutrient medium did not allow detection of *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Lachnospira* and *Selenomonads* in canned grass forages.

**Keywords:** *silage, Orchard Grass, microbiota, fermentation, NGS-sequencing*

**Citation.** Yildirim E.A., Laptev G.Yu., Ilyina L.A., Filippova V.A., and Kalitkina K.A. (2023), "Metagenomic profiles of bacterial communities of plant surface and silage", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no. 4, pp. 89–97 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-89-97.

**Financial support.** The work was carried out with the financial support of the RSF grant No. 23-16-20007 and the grant of the St. Petersburg Scientific Foundation No. 23-16-20007 "Development of an integrated biotechnological approach for the biological protection of cattle and livestock products from pathogenic bacteria and their toxins."

**Введение.** Силос представляет собой искусственно созданную непрерывно изменяющуюся экосистему со сложными внутренними связями и закономерностями динамики.

Меняющиеся условия среды (уровень кислорода, температуры, сухого вещества, pH и т. д.) могут сказываться неожиданным образом на составе микрофлоры в консервированном корме в ходе ферментации. В условиях антропогенного вмешательства вполне вероятно, как увеличение численности отдельных представителей естественных популяций микроорганизмов, так и уменьшение количества других. В связи с этим изучение микробиологических процессов в силосе, а также выявление закономерностей организации комплексов микроорганизмов как источников формирования микробиоты силоса – является актуальным предметом фундаментального исследования.

Питательный агар и многие другие производные питательных сред, основными компонентами которых являются мясной экстракт и пептон, разработанные для выделения чистых изолятов патогенов человека, использовались для культивирования различных типов микробиоты, независимо от природы окружающей их среды, будь то животные, растения или корма [1, 2, 3, 4, 5]. Раскрыть вопрос реального состава микробиоты позволило развитие методов изучения микроорганизмов, основанных на секвенировании последовательностей генов микробной малой субъединицы рибосомальной РНК (16S рРНК), важной особенностью которых можно считать отсутствие необходимости в культивировании микроорганизмов и прямое изучение проб непосредственно из образцов окружающей среды [6, 7, 8, 9].

В настоящее время микроорганизмы, присутствующие в составе поверхности растений и в силосе, охвачены молекулярно-генетическими исследованиями лишь незначительно [7, 10]. Сведений о микробном разнообразии вегетирующих растений и силоса, полученных методом секвенирования следующего поколения (next generation sequencing, NGS), до настоящего времени не имеется. Использование в качестве маркера гена 16S рРНК позволило в разы увеличить число вновь открытых бактерий-кандидатов, не известных ранее. Их количество увеличивается благодаря дальнейшему развитию метагеномных методов и постоянному обновлению геномных баз данных и представляет собой серьезную проблему для научного сообщества.

**Цель исследований** – метагеномный анализ на основе метода NGS-секвенирования состава бактериальных популяций поверхности растений ежи сборной и консервированного корма на ее основе в динамике его ферментации.

**Материалы и методы.** Отбор растительного материала ежи сборной проводили в фазу выхода в трубку на полях животноводческого хозяйства Ленинградской области РФ в 2014 г. Пробы свежескошенной растительной массы отбирали в нескольких точках поля и при влажности 84,7% использовали в эксперименте по модельному силосованию. Для консервирования использовали химический консервант AIV 2000 Plus, включающий смесь органических кислот: муравьиной, пропионовой, бензойной («KEMIRA OYJ, Inc.», Финляндия) в количестве 4 мл/кг. Средние пробы исходной свежей травы, а также силоса в процессе консервирования (3, 7, 14 и 30 сутки) отбирали согласно рекомендациям [11, 12, 13] и замораживали при температуре -70 °С до момента выделения ДНК. ДНК при этом выделялась в трех повторностях с последующим получением одного среднесмешанного образца в равных пропорциях для проведения NGS-анализа [14, 15, 16, 17]. Тотальную ДНК из образцов выделяли с помощью набора «Genomic DNA Purification Kit» («Fermentas, Inc.», Литва). Амплификацию проводили с использованием ДНК-амплификатора Verity («Life Technologies, Inc.», США) с помощью эубактериальных праймеров (IDT), 343F (5'-CTCCTACGGRRSGCAGCAG-3') и 806R (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT-3'). Ссеквенирование гена 16S рРНК проводили на секвенаторе MiSeq («Illumina, Inc.», США) с использованием набора MiSeq Reagent Kit v3 («Illumina, Inc.», США). Обработка полученных ридов 2 × 300 нт происходила с помощью биоинформатической платформы «CLC Bio GW 7.0» («Qiagen», Нидерланды) и включала в себя перекрывание, фильтрацию по качеству (QV>15), триммирование праймеров. Химерные последовательности при этом были исключены из анализа с помощью программы «USEARCH 7.0» (<http://drive5.com/usearch/>). Погрешность прибора MiSeq составляла не более 5%.

Математическую и статистическую обработки результатов проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010.

**Результаты.** Результаты NGS-секвенирования показали, что состав бактерий в силосе из ежи сборной резко отличался от микроорганизмов поверхности растений и менялся в ходе ферментации (см. таблицу).

Состав микрофлоры поверхности растений и силоса был достаточно богатым, что невозможно было установить ранее при использовании классических методов микробиологии [1, 2, 3, 4, 5]. В составе микрофлоры поверхности растений ежи сборной мы обнаружили 70 родов бактерий, в силосе в процессе ферментации – от 51 до 96 родов. Ранее подобные результаты наблюдал McEniry J. с соавт. [18]. Авторы обнаружили 78 родов бактерий в силосе.

Эпифитная микрофлора ежи сборной состояла в основном из протеобактерий (94,1%): энтеробактерий, псевдомонад и буркхолдерий. Среди энтеробактерий самыми многочисленными были *Serratia* spp. и *Pantoea* spp. Количество энтеробактерий в микробиоте силоса было намного меньше, чем в составе микрофлоры поверхности растений (0,01–26,5%).

В составе бактериального сообщества на 3 и 7 сутки ферментации основными были бактериоиды – 59,5 и 48,9% соответственно. Повышенное содержание данных бактериоидов в силосе нежелательно, потому что они разлагают крахмал, что может снизить питательность готового корма. Eikmeier F.G. с соавт. [16] также выявляли ранее бактериоиды в силосе без заквасок.

Таблица. Состав бактерий поверхности растений и силоса  
Table. Composition of bacteria on the surface of plants and silage

Таксон	Представленность, %				
	Филлосфера	Срок ферментации корма			
		3 сут.	7 сут.	14 сут.	30 сут.
<b>Фила Firmicutes</b>	<b>0,2</b>	<b>20,7</b>	<b>22,2</b>	<b>71,3</b>	<b>74,9</b>
<i>Lactobacillales</i>	0,07	0,02	7,8	71,3	74,8
<i>Lactobacillaceae</i>	0	0,01	1,5	40,2	32,7
<i>Lactobacillus</i> spp.	0	0,01	1,5	39,6	31,2
<i>Pediococcus</i> spp.	0	0	0,07	0,55	1,5
<i>Enterococcaceae</i>	0,04	0,01	1,9	12,4	36,4
<i>Streptococcaceae</i>	0	0	4,0	14,4	3,9
<i>Leuconostocaceae</i>	0,03	0	0,31	3,5	1,6
<i>Bacillaceae</i>	0,12	0	0,04	0	0,08
<i>Staphylococcus</i> spp.	0,02	0	0	0	0
<i>Clostridiaceae</i>	0	0,65	0,45	0	0
<i>Ruminococcaceae</i>	0	10,9	7,4	0	0
<i>Lachnospiraceae</i>	0	1,3	1,0	0	0
некультивируемые <i>Clostridiales</i>	0	4,4	3,2	0	0
<i>Selenomonadales</i>	0	3,4	2,3	0	0,01
<i>Erysipelothrix</i> spp.	0	0,04	0	0	0
<b>Фила Actinobacteria</b>	<b>0,06</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	<b>0,14</b>
<b>Фила Proteobacteria</b>	<b>94,1</b>	<b>0,03</b>	<b>14,3</b>	<b>26,6</b>	<b>20,6</b>
<i>Enterobacteriaceae</i>	67,6	0,01	14,3	26,5	20,2
<i>Pseudomonas</i> spp.	23,4	0	0	0,01	0,06
<i>Rhizobiales</i>	0,08	0	0,01	0,04	0,1
<i>Burkholderiales</i>	3,0	0,02	0,01	0,02	0,24
<b>Фила Bacteroidetes</b>	<b>2,3</b>	<b>59,5</b>	<b>48,9</b>	<b>0,18</b>	<b>0,2</b>
<b>Неидентифицированные</b>	<b>0,34</b>	<b>7,8</b>	<b>11,3</b>	<b>0,21</b>	<b>0,01</b>
Прочие	3,0	12,0	3,3	1,7	4,2
<b>Общее количество родов, шт.</b>	<b>70</b>	<b>84</b>	<b>96</b>	<b>51</b>	<b>69</b>

Стоит обратить особое внимание на значительное содержание на ранних этапах силосования руминококков (до 10,9%), лахноспир (до 1,3%), селеномонад (до 3,4%). Селеномонады утилизируют лактат, что может раскислять силос и вызывать рост нежелательной микробиоты – дрожжей и клостридий, снижающих питательность.

Применение классических методов микробиологии не позволяло обнаружить в силосе бактериоидов, руминококков, лахноспир, селеномонад [1, 2, 3, 4, 5]. Ранее они считались обитателями только пищеварительной системы, в том числе коров. Возможно, силос – источник поступления этих бактерий в пищеварительную систему жвачных.

На 14–30 сутки ферментации в корме доминировали в основном фирмикуты (до 74,9%), по большей части – лактобактерии (до 74,76%). Это микроорганизмы, желательные для процесса ферментации, поскольку они продуцируют лактат с антимикробными свойствами. Таксономическое разнообразие лактобактерий было представлено *Lactobacillus* spp., *Enterococcus* spp., *Lactococcus* spp., *Pediococcus* spp., семейством *Leuconostocaceae*, а также бактериями, не выявляемыми ранее некультивируемыми на искусственных питательных средах [1, 2, 3, 4, 5].

Отметим, что содержание бактериоидов, руминококков, *лахноспир*, селеномонад и клостридий было наибольшим на 3–7 сутки ферментации, во второй фазе созревания (14–30 сутки) их количество резко снижалось. Возможно, это связано с тем, что они очень чувствительны к уровню pH [19].

Наименее представленными в корме были клостридии, бациллы, актиномицеты, псевдомонады, ризобии и буркхолдерии. Ранее Ni K. с соавт. [17] также выявляли в силосе симбиотические ризобии, которые могут связывать атмосферный азот, что было невозможно при использовании классических микробиологических методов.

Кроме того, в составе микробиоты поверхности растений мы находили бактерии, среди которых нередко встречаются патогенные для животных микроорганизмы – стафилококки, а в силосе – представители рода *Erysipelothrix* spp., не выявляемые ранее с помощью классических микробиологических методов [1, 2, 3, 4, 5].

**Заключение.** Применение метода NGS-секвенирования для анализа состава микрофлоры на различных этапах ферментации силоса из ежи сборной позволило изучить разнообразие всех микроорганизмов. Структура бактериального сообщества корма значительно отличалась от состава микроорганизмов поверхности растений и менялась в процессе ферментации. Структура микробиоценоза поверхности растений и силоса, вопреки традиционным представлениям, была крайне разнообразна.

#### Список источников литературы

1. Гардер, Л.А. Силосование кормов с применением заквасок / Л. А. Гардер, М. М. Макарова, Е. И. Боровикова, Я. Е. Субботин // Проблемы животноводства. – 1935. – № 8. – С. 9–11.
2. Мишустин, Е.Н. Микробиологические процессы при силосовании кормов // Силосование и технология кормов. – М.: Колос, 1964. – С. 5–19.
3. Youssef H.H. Plant-based culture media: Efficiently support culturing rhizobacteria and correctly mirror their in-situ diversity / H.H. Youssef, M.A. Hamza, M. Fayez [et al.] // Journal of Advanced Research. – 2016. – No 7(2). – Pp. 305–16. DOI: 10.1016/j.jare.2015.07.005.
4. Мак-Дональд, П. Биохимия силоса. – М.: Агропромиздат, 1985. – 271 с.
5. Lin, C. Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn / C. Lin, K.K. Bolsen, B.E. Brent [et al.] // Journal of Dairy Science. – 1992. – V. 75. – Pp. 2484–2493.
6. Amann, R.I. Phylogenetic identification and *in situ* detection of individual microbial cells without cultivation / R.I. Amann, W. Ludwig, K.H. Schleifer // Microb. Rev. – 1995. – V. 59. – Pp. 143–169.
7. Said, E. Phylogenetic diversity of lactic acid bacteria associated with paddy rice silage as determined by 16S Ribosomal DNA analysis / E. Said, C. Yimin, F. Yasuhito // Appl. Environ. Microbiol. – 2003. – V. 69. – Pp. 444–451.
8. Driehuis, F. Silage and the safety and quality of dairy foods: a review / F. Driehuis // Agricultural and Food Science. – 2013. – V. 22. – Pp. 16–34.
9. Eikmeyer, F.G. Metagenome analyses reveal the influence of the inoculant *Lactobacillus buchneri* CD034 on the microbial community involved in grass ensiling / F.G. Eikmeyer, P. Köfinger, A. Poschenel // J. Biotechnol. – 2013. – V. 167. – Pp. 334–43.
10. Muck, E. Recent advances in silage microbiology / E. Muck // Agricultural and Food Sci. – 2013. – V. 22. – Pp. 3–15.
11. Saenz, J.S. Dynamic Development of Viral and Bacterial Diversity during Grass Silage Preservation / J.S. Saenz, B. Rios-Galicia, B. Rehkugler, J. Seifert // Viruses. – 2023. – No 15(4). – Pp. 951. DOI: 10.3390/v15040951.
12. Chen, D. Improving the quality of Napier grass silage with pyroligneous acid: Fermentation, aerobic stability, and microbial communities / D. Chen, M. Zheng, Y. Zhou [et al.] // Front Microbiol. – 2022. – No 14. – Pp. 13:1034198. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1034198.

13. Lai, X. Exploring the differences between sole silages of gramineous forages and mixed silages with forage legumes using 16S/ITS full-length sequencing / X. Lai, H. Wang, J. Yan [et al.] // *Front Microbiol.* – 2023. – No 14. – Pp. 1120027. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1120027.
14. Pervez, M.T. A Comprehensive Review of Performance of Next-Generation Sequencing Platforms / M.T. Pervez, M.J.U. Hasnain, S.H. Abbas [et al.] // *Biomed Res Int.* – 2022. – No 2022. Pp. 3457806. DOI: 10.1155/2022/3457806.
15. Slatko, B.E. Overview of Next-Generation Sequencing Technologies / B.E. Slatko, A.F. Gardner, F.M. Ausubel // *Curr Protoc Mol Biol.* – 2018. – No 122(1). – Pp. e59. DOI: 10.1002/cpmb.59.
16. Eikmeyer, F.G. Metagenome analyses reveal the influence of the inoculant *Lactobacillus buchneri* CD034 on the microbial community involved in grass ensiling / F.G. Eikmeyer, P. Köfinger, A. Poschenel [et al.] // *J. Biotechnol.* – 2013. – V 167. – No 3. – Pp. 334–43.
17. Ni, K. Comparative microbiota assessment of wilted Italian ryegrass, whole crop corn, and wilted alfalfa silage using denaturing gradient gel electrophoresis and next-generation sequencing / K. Ni, T.T. Minh, T.T. Tu // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2017. – No. 101(4). – Pp. 1385–1394. DOI: 10.1007/s00253-016-7900-2.
18. McEniry, J. Bacterial community dynamics during the ensilage of wilted grass / J. McEniry, P. O’Kiely, N.J.W. Clipson [et al.] // *Journal of Applied Microbiology.* – 2008. – V. 105. – Pp. 359–371.

### References

1. Garder, L.A. Makarova, M.M., Borovikova, E.I., Subbotin, Y.E. (1935), “Feed Silencing Using Starters”, *Problems of animal husbandry*, no. 8, pp. 9–11. (In Russ.).
2. Mishoustin, E.H. (1964), “Microbiological processes in feeding silage”, *Silencing and feed technology*, M.: Kolos, pp. 5–19. (In Russ.).
3. Youssef, H.H., Hamza, M.A., Fayez, M. et al. (2016) “Plant-based culture media: Efficiently support culturing rhizobacteria and correctly mirror their in-situ” *Journal of Advanced Research*, no 7(2), pp. 305–16. DOI: 10.1016/j.jare.2015.07.005.
4. McDonald, P. (1985), *Silo biochemistry*. M.: Agropromizdat, pp. 271. (In Russ.).
5. Lin, C., Bolsen, K.K., Brent, B.E. et al. (1992) “Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn” *Journal of Dairy Science*, vol. 75, pp. 2484–2493.
6. Amann, R.I., Ludwig, W., Schleifer, K.H. (1995) “Phylogenetic identification and *in situ* detection of individual microbial cells without cultivation” *Microb. Rev.*, vol. 59, pp. 143–169.
7. Said, E., Yimin, C., Yasuhito, F. (2003) “Phylogenetic diversity of lactic acid bacteria associated with paddy rice silage as determined by 16S Ribosomal DNA analysis”, *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 69, pp. 444–451.
8. Driehuis, F. (2013) “Silage and the safety and quality of dairy foods: a review”, *Agricultural and Food Science*, vol. 22, pp. 16–34.
9. Eikmeyer, F.G., Köfinger, P., Poschenel A. (2013) “Metagenome analyses reveal the influence of the inoculant *Lactobacillus buchneri* CD034 on the microbial community involved in grass ensiling”, *J. Biotechnol.*, vol. 167, pp. 334–43.
10. Muck, E. (2013) “Recent advances in silage microbiology”, *Agricultural and Food Sci.*, vol. 22, pp. 3–15.
11. Saenz, J.S., Rios-Galicia, B., Rehkugler, B., Seifert, J. (2023) “Dynamic Development of Viral and Bacterial Diversity during Grass Silage Preservation”, *Viruses*, no 15(4), pp. 951. DOI: 10.3390/v15040951.
12. Chen, D., Zheng, M., Zhou, Y. et al. (2022) “Improving the quality of Napier grass silage with pyroligneous acid: Fermentation, aerobic stability, and microbial communities”, *Front Microbiol.*, no 14, pp. 13:1034198. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1034198.
13. Lai, X., Wang, H., Yan, J. et al. “Exploring the differences between sole silages of gramineous forages and mixed silages with forage legumes using 16S/ITS full-length sequencing”, *Front Microbiol.*, no 14, pp. 1120027. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1120027.
14. Pervez, M.T., Hasnain, M.J.U., Abbas, S.H. et al. (2022) “A Comprehensive Review of Performance of Next-Generation Sequencing Platforms”, *Biomed Res Int.*, no 2022, pp. 3457806. DOI: 10.1155/2022/3457806.
15. Slatko, B.E., Gardner, A.F., Ausubel, F.M. (2018) “Overview of Next-Generation Sequencing Technologies”, *Curr Protoc Mol Biol.*, no. 122(1), pp. e59. DOI: 10.1002/cpmb.59.



16. Eikmeyer, F.G., Köfinger, P., Poschenel, A. et al. (2013) "Metagenome analyses reveal the influence of the inoculant *Lactobacillus buchneri* CD034 on the microbial community involved in grass ensiling", *J. Biotechnol.*, vol. 167, no. 3, pp. 334–43.
17. Ni, K., Minh, T.T., Tu, T.T. (2017) "Comparative microbiota assessment of wilted Italian ryegrass, whole crop corn, and wilted alfalfa silage using denaturing gradient gel electrophoresis and next-generation sequencing", *Appl Microbiol Biotechnol.*, no. 101(4), pp. 1385–1394. DOI: 10.1007/s00253-016-7900-2.
18. McEniry, J., O'Kiely, P., Clipson, N.J.W. et al. (2008) "Bacterial community dynamics during the ensilage of wilted grass", *Journal of Applied Microbiology*, vol. 105, pp. 359–371.

#### Сведения об авторах

**Йылдырым Елена Александровна**, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-5846-5105>, SPIN-код: 4479-7509, Scopus author ID: 57059948100, Researcher ID: C-3770-2014; e-mail: deniz@biotrof.ru.

**Лаптев Георгий Юрьевич**, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>, SPIN-код: 3600-5295, Scopus author ID: 54414368800, Researcher ID: A-9395-2019; e-mail: georg-laptev@rambler.ru.

**Ильина Лариса Александровна**, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>, SPIN-код: 5826-7525, Scopus author ID: 57060452100, Researcher ID: C-3772-2014; e-mail: ilina@biotrof.ru.

**Филиппова Валентина Анатольевна**, старший преподаватель кафедры крупного животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0001-8789-9837>, SPIN-код: 4398-5340, Scopus author ID: 57060101800, Researcher ID: AAE-2402-2022; e-mail: filippova@biotrof.ru.

**Калиткина Ксения Андреевна**, ассистент кафедры крупного животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-9541-6839>, SPIN-код: 7893-2670, Scopus author ID: 57280455100, Researcher ID: ADD-4706-2022; e-mail: kseniya.andreevna@spbgau.ru.

**Пономарева Екатерина Сергеевна**, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории, общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ», <https://orcid.org/0000-0002-4336-8273>, SPIN-код: 4260-6755, Scopus author ID: 57262828600, Researcher ID: AGB-6728-2022; e-mail: kate@biotrof.ru.

**Тюрина Дарья Георгиевна**, кандидат экономических наук, заместитель директора по финансам, общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ», <https://orcid.org/0000-0001-9001-2432>, SPIN-код: 9917-5118, Scopus author ID: 57219196023; e-mail: tiurina@biotrof.ru.

**Спиридонов Анатолий Михайлович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0003-1452-6698>, SPIN-код: 5030-1241; e-mail: anatolij-spiridonov@yandex.ru.

#### Information about the authors

**Elena A. Yildirim**, Doc. Sci. (Biol.), Professor of the Department of Large Livestock, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-5846-5105>, SPIN-code: 4479-7509, Scopus author ID: 57059948100, Researcher ID: C-3770-2014; e-mail: deniz@biotrof.ru.

**Georgy Y. Laptev**, Doc. Sci. (Biol.), Professor of the Department of Large Livestock, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University

<https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>, SPIN-code: 3600-5295, Scopus author ID: 54414368800, Researcher ID: A-9395-2019; e-mail: [georg-laptev@rambler.ru](mailto:georg-laptev@rambler.ru).

**Larisa A. Pyina**, Doc. Sci. (Biol.), Professor of the Department of Large Livestock, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University," <https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>, SPIN-code: 5826-7525, Scopus author ID: 57060452100, Researcher ID: C-3772-2014; e-mail: [ilina@biotrof.ru](mailto:ilina@biotrof.ru).

**Valentina A. Filippova**, Senior lecturer at the Department of Large Livestock. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University," <https://orcid.org/0000-0001-8789-9837>, SPIN-code: 4398-5340, Scopus author ID: 57060101800, Researcher ID: AAE-2402-2022; e-mail: [filippova@biotrof.ru](mailto:filippova@biotrof.ru).

**Kseniya A. Kalitkina**, Assistant at the Department of Large Livestock, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University," <https://orcid.org/0000-0002-9541-6839>, SPIN-code: 7893-2670, Scopus author ID: 57280455100, Researcher ID: ADD-4706-2022; e-mail: [kseniya.andreevna@spbgau.ru](mailto:kseniya.andreevna@spbgau.ru).

**Ekaterina S. Ponomareva**, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory, BIOTROF Limited Liability Company, <https://orcid.org/0000-0002-4336-8273>, SPIN-code: 4260-6755, Scopus author ID: 57262828600, Researcher ID: AGB-6728-2022; e-mail: [kate@biotrof.ru](mailto:kate@biotrof.ru).

**Daria G. Tyurina**, Cand. Sci. (Econ.), Deputy Director for Finance, BIOTROF Limited Liability Company, <https://orcid.org/0000-0001-9001-2432>, SPIN-code: 9917-5118, Scopus author ID: 57219196023; e-mail: [tiurina@biotrof.ru](mailto:tiurina@biotrof.ru).

**Anatoly M. Spiridonov**, Doc. Sci. (Agric.), Associate Professor, Head of the Department of Storage and Processing Technology of Agricultural Products, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University," <https://orcid.org/0000-0003-1452-6698>, SPIN-code: 5030-1241; e-mail: [anatolij-spiridonov@yandex.ru](mailto:anatolij-spiridonov@yandex.ru).

*Статья поступила в редакцию 01.11.2023; одобрена после рецензирования 17.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 01.11.2023; approved after reviewing 17.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 636.2.082.13

Код ВАК 4.2.5

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-97-106

## ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕНОФОНДА ГОРСКОГО СКОТА ДАГЕСТАНА ПО ДАННЫМ SNP-АНАЛИЗА

А.С. Абдельманова<sup>1</sup> ✉, Т.Е. Денискова<sup>1</sup>, В.В. Волкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр животноводства – Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л. К. Эрнста,  
пос. Дубровицы, Подольский р-н., Московская обл., Россия;

✉ [preevetic@mail.ru](mailto:preevetic@mail.ru)

**Реферат.** Локальные породы крупного рогатого скота отличаются высокими адаптационными способностями, однако не могут конкурировать по показателям продуктивности со специализированными породами. Дагестанский горный скот способен перемещаться по труднопроходимой местности и довольствоваться только пастбищным кормом без добавления концентратов, при этом он хорошо откликается на улучшение кормления, что делает его перспективной породой для разведения в условиях сурового климата и скудной кормовой базы. Селекционная работа с горским скотом велась по пути поглотительного скрещивания с

улучшающими породами, что могло привести к утрате аутентичных геномных компонентов, свойственных данной группе скота и связанных с ценными адаптационными качествами. Проведенные ранее исследования с использованием STR-маркеров показали наличие примеси красной степной породы у нескольких особей горского скота. Целью работы был анализ современного состояния генетической структуры популяции и оценка примесей улучшающих пород в популяции дагестанского горского скота. Проведено генотипирование образцов горского скота (GRSK, n = 26), красной степной (RED\_STEPPE, n = 29), бурой швицкой (BRWS, n = 24) и голштинской (HLST, n = 25) пород, депонированных в генетическом банке ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста с использованием ДНК-чипов Bovine GGP BeadChip (Illumina Inc., США). Анализ главных компонентов показал формирование изучаемыми образцами породоспецифичных кластеров. Анализ структуры популяции горского скота выявил как особей, несущих более 30% генетических компонентов улучшающих пород, так и чистопородных животных. При оценке степени дивергенции популяций и обмена генами между ними идентифицировано одно событие потока генов от бурой швицкой породы к горскому скоту, что согласуется с историей развития породы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ селекционной работы с локальными породами скота и программ по сохранению малочисленных и исчезающих локальных пород.

**Ключевые слова:** скотоводство, локальные породы, горский скот, биоразнообразие, структура популяции

**Цитирование.** Абдельманова А.С., Денискова Т.Е., Волкова В.В. Оценка современного состояния генофонда горского скота Дагестана с использованием ДНК-маркеров // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). С. 97–106, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-97-106.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема FGGN-2022-0002).

## ASSESSMENT OF CURRENT STATE OF GENE POOL OF DAGESTAN MOUNTAIN CATTLE USING SNP ANALYSIS

A.S. Abdelmanova<sup>1</sup>✉, T.E. Deniskova<sup>1</sup>, V.V. Volkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow Region, Russia;  
✉ preevetic@mail.ru

**Abstract.** Local cattle breeds are distinguished by high adaptive abilities, but they cannot compete in terms of productivity with specialized breeds. Dagestan mountain cattle is able to move through difficult terrain and content only with pasture forage without the addition of concentrates, while it responds well to improved feeding, which makes it a promising breed for raising in harsh climates and a scarce food supply. Selection work with mountain cattle was carried out along the path of absorption crossing with improving breeds, which could lead to the loss of authentic genomic components characteristic of this group of cattle and associated with valuable adaptive traits. Previous studies by STR markers showed the presence of an admixture of the red steppe breed in few individuals of mountain cattle. The aim of the work was to analyze current genetic structure and

assess the impurities of improving breeds in the population of Dagestan mountain cattle. Genotyping of mountain cattle (GRSK, n = 26), Red Steppe (RED\_STEPPE, n = 29), Brown Swiss (BRSW, n = 24) and Holstein (HLST, n = 25) breeds deposited in the gene bank of the L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry was carried out using Bovine GGP BeadChip DNA chips (Illumina Inc., USA). Principal Component Analysis showed the formation of breed-specific clusters. An analysis of the structure of the mountain cattle population revealed both individuals carrying more than 30% of the genetic components of improving breeds, as well as purebred animals. One gene flow event from Brown Swiss to mountain cattle was identified in assessing the degree of population divergence and gene exchange, which is consistent with the breed developmental history. Our results can be used in the development of breeding programs for local cattle breeds and programs for the conservation of small and endangered local breeds.

**Keywords:** *cattle breeding, local cattle breeds, mountain cattle, biodiversity, population structure*

**Citation.** Abdelmanova, A.S., Deniskova, T.E., Volkova, V.V. (2023), "Assessment of current state of gene pool of Dagestan Mountain cattle using SNP analysis", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no 4, pp. 96–107 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-97-106.

**Financial support.** The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation according to theme No. FGGN-2022-0002.

**Введение.** Локальные породы скота, как правило, наилучшим образом приспособлены к условиям местности, в которой они были выведены. Республика Дагестан имеет давнюю историю животноводства. При рекогносцировочном обследовании скота Кавказа, проведенном в конце XIX – начале XX века, были выделены две группы: великокавказская (животные весом 96–192 кг, преимущественно черной масти) и малокавказская (животные весом 156–384 кг, преобладает красная масть) [1]. Начиная с 30-х гг. XX века и до настоящего времени совершенствование крупного рогатого скота, разводимого в горной зоне Дагестана, осуществлялось преимущественно за счет поглотительного скрещивания местного поголовья с производителями бурой швицкой породы [2]. Проведенные ранее исследования с использованием STR-маркеров (short tandem repeats, STR) показали наличие примеси красной степной породы у нескольких особей горского скота [3]. Хотя исследования генофонда горского скота Дагестана с использованием ДНК-чипов ранее не проводились, анализ на основании данных SNP-маркеров может дать более подробную информацию о генетической структуре этой группы скота и геномных регионах, подвергшихся давлению отбора [4, 5].

Интенсивный отбор по производственным признакам привел к истощению генетической изменчивости и неблагоприятным коррелированным ответам по другим важным признакам, например, по здоровью и репродуктивным качествам, у высокопродуктивных пород крупного рогатого скота [6]. Поэтому разведение специализированных пород в суровых условиях высокогорья нецелесообразно в связи со значительными затратами на концентрированные корма, снижением продуктивности животных и даже их выбраковкой по разным причинам, что делает производство продукции в таких случаях нерентабельным [7; 8; 9].

В то же время горский скот при относительно невысокой продуктивности отличается исключительными адаптационными качествами, способен перемещаться по труднопроходимой горной местности и довольствоваться только пастбищным кормом без

добавления концентратов, хорошо откликается на улучшение условий содержания и кормления, что свидетельствует о богатом генетическом потенциале этого скота. Сохранение генетического разнообразия локальных пород как резерва генетической изменчивости для устойчивого развития скотоводства является важной задачей.

**Цель исследования.** Целью нашей работы являлось исследование структуры популяции и оценка примесей улучшающих пород (бурой швицкой, красной степной) в популяции дагестанского горского скота с использованием SNP-маркеров.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Материалом для исследований служили образцы биологического материала (ушной выщип, кровь, сперма) крупного рогатого скота локальных пород, в том числе горского скота (GRSK,  $n = 26$ ) и красной степной (RED\_STEPPE,  $n = 29$ ) породы, и трансграничных пород, включая бурую швицкую (BRWS,  $n = 24$ ) и голштинскую (HLST,  $n = 25$ ) породы, депонированные в генетическом банке ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Исследование проводили на базе ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Выделение ДНК проводили с помощью набора «ДНК-Экстран-2» (ООО «Синтол», Россия) в соответствии с рекомендациями производителя. Генотипирование образцов осуществляли с использованием ДНК-чипов Bovine GGP BeadChip (Illumina Inc., США). Обработку и визуализацию данных генотипирования выполняли в программной среде R версии 3.5.0 ([http:// www.r-project.org](http://www.r-project.org)) с использованием программы PLINK (v. 1.07) [10] и дополнительно загружаемых R-пакетов (dplyr, rphelper, ggplot2, optM). В набор данных после фильтрации по качеству генотипирования вошло 27 196 SNP.

Анализ структуры популяции и наличия примесей проводили в программе Admixture v 1.23 [11] для числа кластеров  $K$  от 2 до 4.

Для оценки степени дивергенции популяций и уровня обмена генами между ними было построено дерево максимального правдоподобия (maximum likelihood, ML) с использованием программного обеспечения TreeMix v. 1.12 [12]. В качестве аутгруппы для анализа TreeMix использовали SNP-профили яков (*Bos grunniens*), загруженные из общедоступных источников [13]. Оптимальное количество миграционных событий определяли с помощью пакета R «OptM» [14] на основе файлов TreeMix.

**Результаты исследования.** По результатам анализа главных компонент (рис. 1) образцы сформировали породоспецифичные кластеры, продемонстрировав четкую дифференциацию между изучаемыми группами. По первой компоненте (PC1), отвечающей за 40,73% генетической изменчивости, голштинская порода отделилась от остальных пород. Вторая компонента (PC2), отвечающая за 25% генетической изменчивости, отделила трансграничные породы (голштинскую и бурую швицкую) от российских локальных пород.

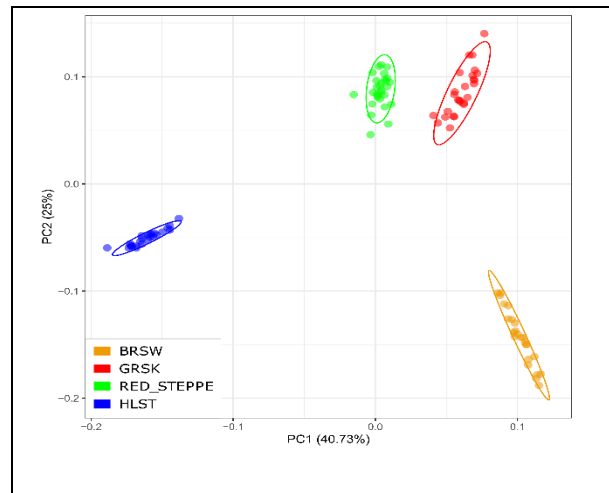


Рисунок 1. Дифференциация исследуемых пород на основании генотипов по SNP-маркерам: BRSW – бурая швицкая, GRSK – горский скот, RED\_STEPPE – красная степная, HLST – голштинская

Figure 1. Differentiation of the studied breeds based on genotypes by SNP markers: BRSW – Brown Swiss, GRSK – Mountain Cattle, RED\_STEPPE – Red Steppe, HLST – Holstein

Проведенный анализ структуры популяций (рис. 2) показал, что при  $K = 2$  бурая швицкая и голштинская породы формируют собственные кластеры, в то время как в локальных породах обнаруживается примесь обеих трансграничных пород.

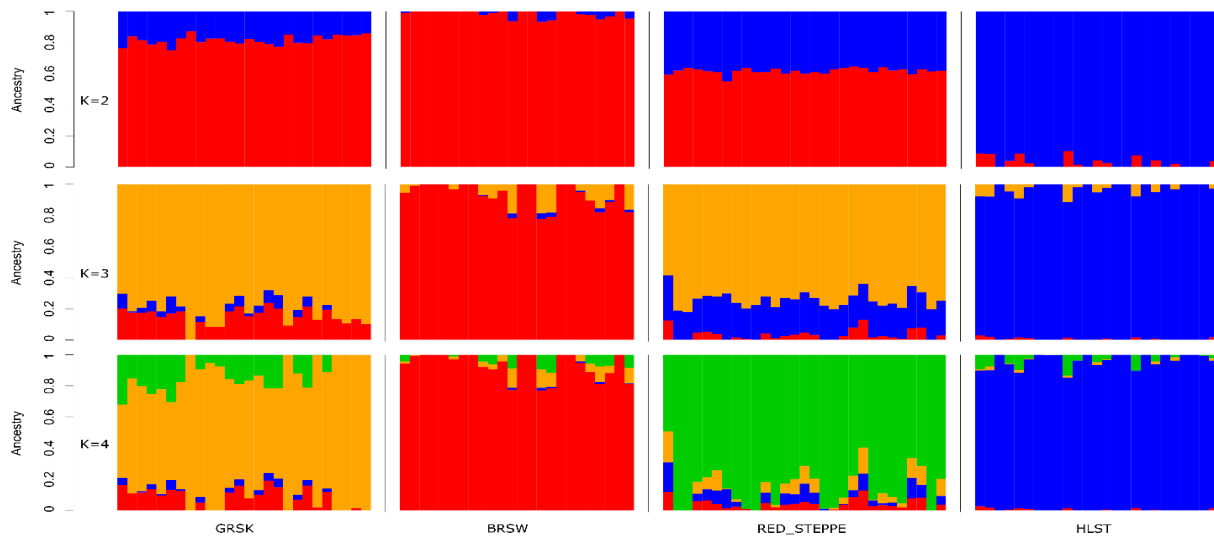


Рисунок 2. Генетическая структура изучаемых пород крупного рогатого скота. BRSW – бурая швицкая, GRSK – горский скот, RED\_STEPPE – красная степная, HLST – голштинская

Figure 2. Genetic structure of the studied breeds of cattle. BRSW – Brown Swiss, GRSK – Mountain Cattle, RED\_STEPPE – Red Steppe, HLST – Holstein

При дальнейшем увеличении числа кластеров ( $K = 3$ ) горский скот и красная степная порода формируют общий кластер, отличающий их от трансграничных пород. При  $K = 4$  локальные породы образуют собственные породоспецифичные кластеры, при этом в горском скоте наблюдается видимая примесь генетических компонентов, свойственных другим породам.

Как видно из таблицы, в популяции горского скота наблюдаются как особи, не имеющие примесей других пород, так и животные, несущие до 19,16% и до 32,09% примеси

генетических компонентов, характерных для бурой швицкой и красной степной пород, соответственно. Доля генетических компонентов, характерных для голштинской породы, составляла менее 10%.

**Таблица. Оценка доли примесей генетических компонентов исследуемых пород в образцах горского скота**  
**Table. Estimation of the admixture proportion of the genetic components of the studied breeds in mountain cattle samples**

Образец	Доля генетических компонентов, %			
	HLST	RED_STEPPE	BRSW	GRSK
GRSK1	4,60	32,09	16,49	46,82
GRSK2	0,00	15,31	11,10	73,59
GRSK3	0,82	20,19	11,65	67,34
GRSK4	3,24	25,17	13,74	57,85
GRSK5	1,05	22,14	9,45	67,36
GRSK6	6,08	30,35	13,39	50,19
GRSK7	1,13	17,58	12,56	68,72
GRSK8	0,00	0,00	0,00	100,00
GRSK9	3,40	9,40	5,24	81,96
GRSK10	0,00	5,37	0,00	94,63
GRSK11	0,00	7,37	0,00	92,63
GRSK12	2,95	15,75	11,63	69,67
GRSK13	4,34	18,86	15,78	61,03
GRSK14	0,00	16,64	7,74	75,62
GRSK15	2,88	13,48	10,17	73,48
GRSK16	4,94	21,57	19,16	54,34
GRSK17	5,61	21,50	14,88	58,01
GRSK18	0,00	0,00	0,00	100,00
GRSK19	3,21	12,02	7,01	77,76
GRSK20	3,51	21,13	16,05	59,32
GRSK21	0,00	0,12	2,08	97,79
GRSK22	2,12	11,10	11,99	74,79
GRSK23	0,00	0,00	0,00	100,00
GRSK24	0,00	0,00	0,00	100,00
GRSK25	0,00	0,00	1,41	98,59
GRSK26	0,00	0,00	0,00	100,00

**Примечание:** BRSW – бурая швицкая, GRSK – горский скот, RED\_STEPPE – красная степная, HLST – голштинская

**Note:** BRSW – Brown Swiss, GRSK – Mountain Cattle, RED\_STEPPE – Red Steppe, HLST – Holstein

Степень дивергенции популяций и обмена генами между ними оценивалась на основании результатов анализа в программе TreeMix v. 1.12.

На дендрограмме (рис. 3) каждая из исследуемых пород сформировала породоспецифичную ветвь, при этом горский скот располагался ближе к бурой швицкой породе, чем к голштинской или красной степной, что свидетельствует об общности происхождения бурых пород. Наиболее удаленными друг от друга породами оказались красная степная порода и горский скот (рис. 3, А).

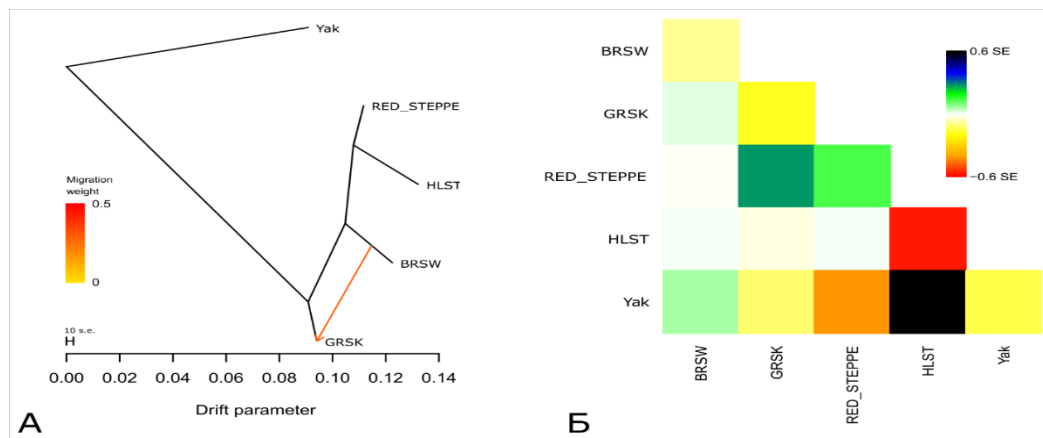


Рисунок 3. Оценка степени дивергенции и уровня обмена генами между изученными породами:

А. Дерево TreeMix с одним событием миграции и яком в качестве аутгруппы; длина отрезка 10 SE соответствует десятикратной величине средней стандартной ошибки (standard error, SE), оцененной исходя из ковариационной матрицы выборки. Предполагаемый поток генов показан стрелками, направленными от популяции-донора к популяции-реципиенту, и окрашен в красный цвет пропорционально интенсивности потока генов;

Б. Матрица остатков, построенная на основе анализа TreeMix для одного миграционного события и выраженная как число стандартных ошибок отклонений для наблюдений в соответствующих породах. BRSW – бурая швицкая, GRSK – горский скот, RED\_STEPPE – красная степная, HLST – голштинская

Figure 3. Assessment of the degree of divergence and the level of gene exchange between the studied breeds:

A. TreeMix tree with one migration event and yak fixed as the root; scale bar shows 10 times the average standard error (SE) of the estimated entries in the sample covariance matrix. Putative gene flow is indicated by the arrows, pointing in the direction of flow from the donor to the recipient population, and coloured in red, proportional to the gene flow intensity; B. Residual matrix plotted from a TreeMix analysis under one migration event and expressed as the number of standard errors (SE) of the deviation. BRSW – Brown Swiss, GRSK – Mountain Cattle, RED\_STEPPE – Red Steppe, HLST – Holstein

Согласно результатам анализа миграционных событий, одно событие потока генов являлось наиболее вероятным, поскольку привело к наибольшему увеличению значимости модели, объясняемой анализом регрессионных остатков, визуализированных в виде тепловой карты на рис. 3, Б. Однако следует отметить, что взаимное расположение горского скота и красной степной породы оценено не оптимально, поскольку положительные значения SE (standard error, стандартная ошибка) между парами популяций указывают на то, что популяции более тесно связаны друг с другом, чем в смоделированном дереве, тогда как отрицательные значения SE показывают, что наблюдаемая ковариация завышена. Значения оценок SE, близкие к нулю, позволяют сделать вывод, что взаимное расположение бурой швицкой и голштинской породы с другими исследованными породами оценено оптимально.



Один вектор миграции (рис. 3, А) свидетельствует о потоке генов от предковой популяции бурой швицкой породы к горскому скоту, что согласуется с историей развития этой группы скота.

Проведенные ранее с использованием инструмента TreeMix исследования выявили события потока генов от бурой швицкой породы в другие локальные породы на ранних этапах их формирования [15], что подтверждает активное использование этой породы для улучшения местных групп скота.

**Выводы.** В настоящее время горский скот Дагестана представляет собой достаточно консолидированную популяцию генетически сходных особей. Выявлен поток генов от бурой швицкой породы к горскому скоту, что согласуется с историей развития породы. Анализ структуры популяции горского скота Дагестана показал, что, несмотря на поглотительное скрещивание с улучшающими породами, применявшееся при селекционной работе с этой группой скота, в ней сохранились особи, в которых отсутствуют генетические компоненты, свойственные другим породам. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ селекционной работы с локальными породами скота и программ по сохранению малочисленных и исчезающих локальных пород.

#### Список источников литературы

1. Лискун, Е.Ф. Отечественные породы крупного рогатого скота. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1949. 176 с.
2. Ибрагимов, Р.Э., Чавтараев, Р.М., Джалалов, А.П. Горский скот Дагестана – ценный генофонд // Зоотехния. – 2009. – № 6. – С. 22-24.
3. Volkova, V.V., Abdelmanova, A.S., Deniskova, T.E., Romanenkova, O.S., Khozhokov, A.A., Ozdemirov, A.A., Sermyagin, A.A., Zinovieva, N.A. Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers. // Diversity. – 2022. – Vol. 14. – № 7. – P. 569. <https://doi.org/10.3390/d14070569>.
4. Hu M., Jiang H., Lai W., Shi L., Yi W., Sun H., Chen C., Yuan B., Yan S., Zhang J. Assessing Genomic Diversity and Signatures of Selection in Chinese Red Steppe Cattle Using High-Density SNP Array. // Animals. – 2023. – Vol.13. – № 10. – P. 1717. doi: 10.3390/ani13101717.
5. Signer-Hasler, H., Casanova, L., Barenco, A., Maitre, B., Bagnato, A., Vevey, M., Berger, B., Simčič, M., Boichon, D., Capitan, A., Medugorac, I., Bennewitz, J., Mészáros, G., Sölkner, J., Drögemüller, C., Flury, C. Genomic regions underlying positive selection in local, Alpine cattle breeds. // Animal Genetics. – 2023. – Vol.54 – № 3. – pp. 239–253. doi: 10.1111/age.13295.
6. Brito, L.F., Bedere, N., Douhard, F., Oliveira, H.R., Arnal, M., Peñagaricano, F., Schinckel, A.P., Baes, C.F., Miglior, F. Review: Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. // Animal. – 2021. – Vol. 15 – № 1. – P. 100292, doi: 10.1016/j.animal.2021.100292.
7. Садыков, М.М. Пути повышения мясной продуктивности горского скота. // Горское сельское хозяйство. – 2016. – № 3. – С. 167–170.
8. Амерханов, Х.А., Мурадян, А.М., Соловьева, О.И. Мясная продуктивность бычков разных генотипов кавказской бурой породы Армении // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (68). – С. 73-82 doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-73-82.
9. Alrhoun, M., Zanon, T., Pouloupoulou, I., Katzenberger, K., Gauly, M. Associated risk factors for skin alterations in dairy cattle kept on small scale mountain farms. // PLoS One. – 2023. – Vol. 18. – № 8. – P. e0285394. doi: 10.1371/journal.pone.0285394.
10. Purcell, S., Neale, B., Todd-Brown, K., Thomas, L., Ferreira, M.A., Bender, D., Maller, J., Sklar, P., de Bakker, P.I., Daly, M.J., Sham, P.C. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses // Am. J. Hum. Genet. – 2007. – Vol. 81. – № 3. – pp. 559–575. DOI: 10.1086/519795.
11. Alexander, D.H., Novembre, J., Lange, K. Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. // Genome Res. – 2009. – № 19. – P. 1655–1664. doi: 10.1101/gr.094052.109.

12. Pickrell J.K., Pritchard J.K. Inference of population splits and mixtures from genome-wide allele frequency data. // *PLoS Genetics*. – 2012. – № 8. e1002967. doi: 10.1371/journal.pgen.1002967.
13. WIDDE. [<http://widde.toulouse.inra.fr/wide>, accessed on 15 May 2023] Web-Interfaced next generation Database dedicated to genetic Diversity Exploration (дата обращения 15 мая 2023).
14. Fitak, R.R. OptM: estimating the optimal number of migration edges on population trees using Treemix. // *Biol. Methods Protoc.* – 2021. – Vol. 6. № 1. – P. bpab017. doi: 10.1093/biomethods/bpab017.
15. Zinovieva, N.A., Sheiko, I.P., Dotsev, A.V., Sheiko, R.I., Mikhailova, M.E., Sermyagin, A.A., Abdelmanova, A.S., Kharzinova, V.R., Reyer, H., Wimmers, K., Sölkner, J., Pleshanov, N.V., Brem, G. Genome-wide SNP analysis clearly distinguished the Belarusian Red cattle from other European cattle breeds. // *Animal Genetics*. – 2021. – Vol. 52 – № 5 – Pp. 720–724. doi: 10.1111/age.13102.

### References

1. Liskun, E.F. (1949) "Domestic breeds of cattle", M.: State publishing house of agricultural literature, 1949. 176 p.
2. Ibragimov, R. E., Chavtaraev, R. M., Dzhalalov, A. P. (2009), "Mountain cattle of Dagestan – a valuable gene pool", *Zootekhnika*, no. 6, pp. 22–24. (in Russian).
3. Volkova, V.V., Abdelmanova, A.S., Deniskova, T.E., Romanenkova, O.S., Khozhokov, A.A., Ozdemirov, A.A., Sermyagin, A.A., Zinovieva, N.A. (2022) "Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers", *Diversity*. vol. 14, no. 7, pp. 569, <https://doi.org/10.3390/d14070569>.
4. Hu M., Jiang H., Lai W., Shi L., Yi W., Sun H., Chen C., Yuan B., Yan S., Zhang J. (2023) "Assessing Genomic Diversity and Signatures of Selection in Chinese Red Steppe Cattle Using High-Density SNP Array", *Animals*, vol. 13, no. 10, pp.1717, doi: 10.3390/ani13101717.
5. Signer-Hasler, H., Casanova, L., Barenco, A., Maitre, B., Bagnato, A., Vevey, M., Berger, B., Simčič, M., Boichon, D., Capitan, A., Medugorac, I., Bennewitz, J., Mészáros, G., Sölkner, J., Drögemüller, C., Flury, C. (2023) "Genomic regions underlying positive selection in local, Alpine cattle breeds", *Animal Genetics*, vol. 54, no. 3, pp. 239–253, doi: 10.1111/age.13295.
6. Brito, L.F., Bedere, N., Douhard, F., Oliveira, H.R., Arnal, M., Peñagaricano, F., Schinckel, A.P., Baes, C.F., Miglior, F. (2021) "Review: Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world", *Animal*, vol.15, no. 1, p. 100292, doi: 10.1016/j.animal.2021.100292.
7. Sadykov, M.M. (2016) "Ways to increase the beef productivity of mountain cattle", *Gorskoe sel'skoe hozyajstvo*, no. 3, pp. 167–170.
8. Amerkhanov, Kh. A., Muradyan, A.M., Solovyova, O.I. (2022), "Meat productivity of bulls of different genotypes of Caucasian brown breed of Armenia", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 68, no. 3, pp. 73-82, (in Russian) doi: 10.24412/2078-1318-2022-3-73-82.
9. Alrhoun, M., Zanon, T., Pouloupoulou, I., Katzenberger, K., Gauly, M. (2023) "Associated risk factors for skin alterations in dairy cattle kept on small scale mountain farms", *PLoS One*, vol.18, no. 8, pp. e0285394, doi: 10.1371/journal.pone.0285394.
10. Purcell, S., Neale, B., Todd-Brown K., Thomas L., Ferreira M.A., Bender D., Maller J., Sklar P., de Bakker P.I., Daly M.J., Sham P.C. (2007), "PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses", *Am. J. Hum. Genet.*, vol. 81, no. 3, p. 559–575. doi: 10.1086/519795.
11. Alexander, D.H., Novembre, J. (2009), "Lange K. Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals", *Genome Res.*, no. 19, pp 1655–1664. doi: 10.1101/gr.094052.109.
12. Pickrell, J.K., Pritchard, J.K. (2012) "Inference of population splits and mixtures from genome-wide allele frequency data", *PLoS Genetics*, no. 8, pp. e1002967. doi: 10.1371/journal.pgen.1002967.
13. Fitak, R.R. (2021), "OptM: estimating the optimal number of migration edges on population trees using Treemix", *Biol. Methods Protoc.*, vol. 6, no 1, pp. bpab017. doi: 10.1093/biomethods/bpab017.
14. Web-Interfaced next generation Database dedicated to genetic Diversity Exploration. WIDDE. [<http://widde.toulouse.inra.fr/wide>, accessed on 15 May 2023].
15. Zinovieva, N.A., Sheiko, I.P., Dotsev, A.V., Sheiko, R.I., Mikhailova, M.E., Sermyagin, A.A., Abdelmanova, A.S., Kharzinova, V.R., Reyer, H., Wimmers, K., Sölkner, J., Pleshanov, N.V., Brem, G. (2021) "Genome-wide SNP analysis clearly distinguished the Belarusian Red cattle from other European cattle breeds", *Animal Genetics*, vol. 52, no. 5, pp. 720-724, doi: 10.1111/age.13102.

## Сведения об авторах

**Абдельманова Александра Сергеевна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории функциональной и эволюционной геномики животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста; <https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>, SPIN-код: 9320-8756; e-mail: preevetic@mail.ru.

**Денискова Татьяна Евгеньевна**, кандидат биологических наук, руководитель группы генетики и геномики мелкого рогатого скота, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста; <https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>, SPIN-код: 2355-1312; e-mail: horarka@yandex.ru.

**Волкова Валерия Владимировна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории функциональной и эволюционной геномики животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста; <https://orcid.org/0000-0002-2080-0182>, SPIN-код: 1340-9552; e-mail: moonlit\_elf@mail.ru.

## Information about the authors

**Alexandra S. Abdelmanova**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Functional and Evolutionary Animal Genomics, L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry; <https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>, SPIN-code: 9320-8756; e-mail: preevetic@mail.ru.

**Tatiana E. Deniskova**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Group for Genetic and Genomics of Small Ruminants, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry; <https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>, SPIN-code: 2355-1312; e-mail: horarka@yandex.ru.

**Valeria V. Volkova**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Functional and Evolutionary Animal Genomics, L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry; <https://orcid.org/0000-0002-2080-0182>, SPIN-code: 1340-9552; e-mail: moonlit\_elf@mail.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 16.08.2023; одобрена после рецензирования 13.10.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 16.08.2023; approved after reviewing 13.10.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья  
УДК 636.085.67

Код ВАК 4.3.1.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-107-115

## РАЗМЕР ЗЕРНОВОК КАК КРИТЕРИЙ ДОСТАТОЧНОСТИ МИКРОНИЗАЦИИ

Ф.А. Киприянов<sup>1</sup> ✉, П.А. Савиных<sup>2</sup>, И.И. Максимов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина,  
с. Молочное, г. Вологда, Россия;

✉ kipriyanovfa@bk.ru;

<sup>2</sup>Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,  
г. Киров, Россия;

<sup>3</sup>Чувашский государственный аграрный университет», г. Чебоксары, Россия

**Реферат.** Микронизация является одним из способов повышения усвояемости и обеззараживания фуражного зерна при приготовлении его к скармливанию животным. Однако источники инфракрасного облучения не обеспечивают равномерного нагрева микронизируемого зерна, что приводит к неполной микронизации части зернового материала. В связи с этим практический интерес представляет критерий достаточности микронизации. Усилие разрушения зерновки, предложенное рядом исследователей в качестве критерия достаточности микронизации, позволяет проводить оценку микронизированности зернового продукта, однако трудноприменимо на практике в условиях поточности процесса микронизации. В статье приведены результаты исследований неравномерности температурного воздействия источника инфракрасного излучения на поверхность зернового материала. В условиях проведенного эксперимента разница температур между «горячими» и «холодными» зонами достигала 80 °С, при минимальной и максимальной температурах 80 °С и 160 °С соответственно. Причем, несмотря на увеличение максимальной температуры в «горячей» зоне до 180 °С, минимальная температура осталась практически на том же уровне. Наличие зон с температурой ниже 100 °С говорит о том, что в указанных зонах в зерне не происходит парообразования, способствующего деструкции зерновки, процесса, характерного для микронизации. В ходе исследования было предложено на примере ячменя оценить возможность использования геометрических параметров зерновок в качестве критерия, по которому оценивается достаточность микронизации. В результате эксперимента установлено, что при статистически значимом увеличении толщины зерновки в 1,1 раза и 1,19 раза усилие разрушения снижается на 24 Н и 52 Н. Сортировка зерен по толщине на щелевых решетках после микронизации позволит отделить немикронизированное зерно и отправить его на повторную обработку, что позволит дополнительно снизить усилие разрушения зерновки на 26 Н, обеспечив тем самым усилие разрушения на уровне зерновок, прошедших микронизацию с первого раза.

**Ключевые слова:** микронизация, фуражное зерно, инфракрасное излучение, критерий достаточности, усилие разрушения

**Цитирование** Киприянов Ф.А., Савиных П.А., Максимов И.И. Размер зерновок как критерий достаточности микронизации // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). С. 107–115, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-107-115.

## KERNEL SIZE AS A CRITERION OF MICRONIZATION SUFFICIENCY

F.A. Kipriyanov<sup>1</sup> ✉, P.A. Savinykh<sup>2</sup>, I.I. Maksimov<sup>3</sup><sup>1</sup> Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin,  
Molochnoe, Vologda, Russia; ✉ kipriyanovfa@bk.ru<sup>2</sup> Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov, Russia<sup>3</sup> Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

**Abstract.** Micronization is one of the ways to increase the digestibility and disinfection of forage grain when preparing it for animal feeding. However, the infrared sources do not provide uniform heating of the micronized grain, which results in incomplete micronization of some part of the grain. In this regard, the criterion of micronization sufficiency is of practical interest. The crush force of the kernel, proposed by a number of researchers as a criterion for the micronization sufficiency, makes it possible to assess the grain micronization, but it is difficult for implementing it in practice due to the continuity of the micronization process. The present paper presents the results of studying the uneven temperature effect of the infrared source on the grain surface. In the experiment process, the temperature difference between the “hot” and “cold” zones has reached 80 °C, at minimum and maximum temperatures of 80 °C and 160 °C, respectively. Moreover, despite the increase in the maximum temperature up to 180 °C in the “hot” zone, the minimum temperature remained almost at the same level. The presence of zones with temperatures below 100°C indicates that there is no vaporization in the grain in these zones, contributing to the grain destruction, a process that is characteristic for micronization. As a part of the study, it has been proposed to evaluate the possibility of employing the geometric grain parameters as a criterion, by which the micronization sufficiency is assessed by using barley as an example. As a result of the experiment, it has been found that with a statistically significant increase in the kernel thickness by 1.1 times and 1.19 times, the crush force is reduced by 24 N and 52 N. Sorting the grains by thickness on slit sieves after micronization is to allow separating the non-micronized grain and sending it for re-processing, which will further reduce the crush force of the grain by 26N, ensuring the crush force at the kernel level that have been micronized at the first attempt.

**Keywords:** *micronization, forage grain, infrared radiation, sufficiency criterion, crush force*

**Citation:** Kipriyanov F.A., Savinykh P.A., Maksimov I.I. (2023), "Kernel size as a criterion of micronization sufficiency", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no 4 , pp. 107–115 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-107-115.

**Введение.** Микронизированное зерно – кормовой продукт высокого качества, использование которого в рационах животных позволяет сократить расходы на корма, улучшить рост и развитие животных, тем самым повысить эффективность животноводства. Микронизация фуражного зерна – это процесс обработки зерна инфракрасным облучением с целью улучшения его питательных свойств и повышения усвояемости за счет разрушения клеточных структур зерна, которые препятствуют его усвоению организмом животного. Учитывая, что процесс микронизации проводится при высокой температуре, наряду с изменением питательных свойств зерна повышается его санитарно-биологическая безопасность. В результате нагрева погибают болезнетворные бактерии и грибковые инфекции [1–4].

Несмотря на то, что нагрев зерна может осуществляться различными способами, основным источником тепла при микронизации как правило, является источник инфракрасного (ИК) излучения, питание которого может осуществляться, например, от электросети или от газа, нагревающего поверхность газовых горелок [5–7].

Независимо от того, насколько разнообразны технические решения микронизаторов фуражного зерна, источники инфракрасного облучения ввиду своих конструктивных особенностей не обеспечивают равномерности нагрева всей поверхности обрабатываемого зерна [8, 9]. Так, при поперечном расположении источника ИК излучения относительно транспортирующего органа более низкие температуры нагрева наблюдаются в местах крепления излучателей. Продольное расположение излучателя обеспечивает высокую температуру нагрева непосредственно под излучателем, однако зачастую она значительно снижается к периферии. В газовых беспламенных горелках, используемых в некоторых конструктивных решениях, как правило, также присутствуют зоны с более низкой температурой поверхности [7–9]. В результате неравномерности нагрева некоторые зерна не получают необходимого количества теплоты, и желаемых изменений в зерне не происходит.

При проведении микронизации актуальным является вопрос о критерии оценки, по которому можно принять решение о том, достаточно ли облучено зерно и насколько успешно проходит процесс. В качестве критерия достаточности микронизации коллективом авторов под руководством Некрашевича В.Ф. предложено усилие разрушения зерновок [10].

Однако применение в качестве критерия достаточности микронизации усилия разрушения в условиях поточности процесса микронизации на практике трудно реализуемо. В связи с чем возникает вопрос о выборе критерия достаточности микронизации в условиях практического применения.

Как показали результаты собственных наблюдений и оценки отечественных и зарубежных исследователей, микронизация сопровождается изменением размеров зерновок, что может послужить в качестве критерия для оценки процесса микронизации.

**Цель исследования** – оценить возможность применения размеров зерновок в качестве критерия достаточности микронизации, установив экспериментальным путем взаимосвязь между размерами зерновок после микронизации и усилием их разрушения.

**Материалы, методы и объекты исследования.** План эксперимента: смоделировать условия неравномерности нагрева зерновок ячменя при микронизации, оценить неравномерность нагрева поверхности зернового материала, провести микронизацию фуражного зерна на различных температурных режимах, моделирующих неравномерность нагрева, при проведении эксперимента оценивать ширину и толщину зерновок до и после микронизации, оценить усилие разрушения зерновки. При проведении эксперимента примем заранее ошибочное допущение о равенстве геометрических параметров зерновок до микронизации, экспериментальное опровержение которого позволит обосновать практические рекомендации по повышению эффективности процесса микронизации.

Условия проведения эксперимента: культура ячмень яровой, сорт Дина; оценке размеров и определению усилия разрушения зерновок подвергалось не менее 50 зерен в каждой порции. В качестве источника инфракрасного излучения использовался излучатель QNL мощностью 1500 Вт с пиковой длиной волны 1,6 мкм и максимальной температурой спирали порядка 1905 °С. Коротковолновый излучатель QNL в качестве источника ИК излучения выбран на перспективу дальнейшего исследования процесса микронизации, поскольку длина волны на номинальном режиме работы излучателя может быть увеличена за

счет снижения питающего напряжения на клеммах излучателя. Расширенный диапазон длины волны, который можно реализовать в коротковолновом излучателе путем регулировок напряжения, позволит в дальнейшем расширить диапазон регулировок непосредственно установки для микронизации [11]. Режимы обработки: 41-220-10; 41-220-15; 41-220-20, где 41 – время обработки, с; 220 – напряжение на контактах источника ИК излучения, В; 10, 15, 20 – высота расположения источника ИК излучения, мм. Приборы и инструменты, применяемые при проведении эксперимента: штангенциркуль ШЦБ-1-150 0,01; каждые 10 замеров проверялся и при необходимости корректировался «0» штангенциркуля. Тепловизор Testo 872 с программным обеспечением IrSoft, динамометр Мегеон 04500 с клиновидным наконечником. Программное обеспечение MS Excel. Достоверность различий между результатами определялась по критерию Стьюдента. Сортировка семян по толщине осуществлялась на семяочистительной машине СМ-0,15 на решетках со щелевыми отверстиями, размеры которых составляли 2,8 мм и 3 мм.

**Результаты исследования.** Как отмечалось выше, неравномерность температурного воздействия не зависит от типа и характера расположения излучателя, поскольку как при продольном расположении излучателя, так и при поперечном присутствуют зоны с температурой, которая не приводит к образованию пара из влаги, находящейся в зерновке [12–14]. Попытка повысить температуру зерен, находящихся в «холодных» зонах, приведёт к неизбежному перегреву и подгоранию зерен в «горячей» зоне.

Смоделированная неравномерность температурного воздействия отчетливо прослеживается при термографическом исследовании зернового слоя шириной 35 мм, подвергнувшегося микронизации при продольном расположении коротковолнового излучателя QNL при различных режимах обработки (рис. 1).

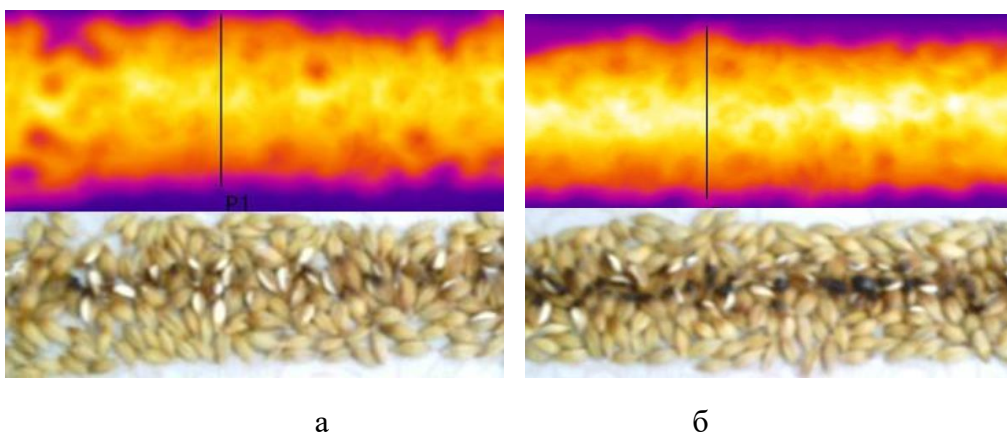


Рисунок 1. Примеры термоснимков зернового слоя:

а – высота источника ИК излучения 15 мм, б – высота источника ИК излучения 10 мм

Picture 1. Examples of thermal images of the grain layer:

а – the infrared source height being 15 mm, б – the infrared source height being 10 mm

Анализ температурных профилей (рис. 2) показал, что при микронизации фуражного зерна в условиях проведенного эксперимента присутствуют зоны с температурой ниже 100 °С, что подтверждает высказанное ранее предположение о том, что разница температур может достигать 80 °С. Повышение температуры с целью уменьшения «холодных» зон за счет приближения источника излучения при той же продолжительности обработки приводит к перегреву и подгоранию зерна в центральной части слоя (рис. 1, б), при том что температура «холодной» зоны практически не увеличится (рис. 2, б).

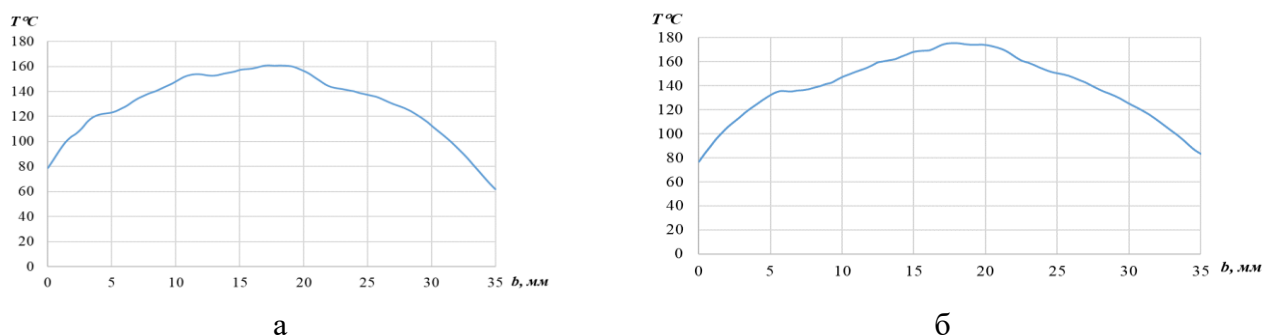


Рисунок 2. Температурные профили:

а – высота источника ИК излучения 15 мм, б – высота источника ИК излучения 10 мм

Picture 2. Temperature profiles:

a – the infrared source height being 15 mm, b – the infrared source height being 10 mm

По результатам эксперимента очевидно, что в зоне с низкой температурой микронизации зерна не происходит, в связи с чем встает вопрос об отделении зерен, не прошедших микронизацию.

Рассмотрим возможность использования в качестве критерия достаточности микронизации и сортировки размеров зерна. Для этого проведем серию опытов с различными условия температурного воздействия.

Таблица 1. Результаты изменения размеров зерновок при микронизации

Table 1. Results of changes in kernel size during micronization

Режимы обработки	Размеры зерновок ячменя при микронизации, мм					
	до микронизации		после микронизации		Изменение размеров/ Достоверность результатов	
	Ширина	Толщина	Ширина	Толщина	Ширина	Толщина
41-220-10	3,60	2,77	4,18	3,31	+0,58/Д	+0,54/Д
41-220-15	3,52	2,72	3,72	2,97	+0,2/Д	+0,25/Д
41-220-20	3,62	2,81	3,67	2,87	+0,05/НД	+0,06/НД

Примечание: Д – различие в размерах при проверке по критерию Стьюдента достоверно, НД – не достоверно



**Таблица 2. Результаты изменения усилия разрушения зерновок при микронизации**  
**Table 2. Results of changes in kernels crush force during micronisation**

Режимы обработки	Усилие разрушения зерновки, Н		
	Контроль	После микронизации	Изменение
41-220-10	101	49	-52/Д
41-220-15		77	-24/Д
41-220-20		99	-2/НД

Таким образом, достоверное различие в размерах зерновок ячменя после микронизации, заключающееся в увеличении ширины и толщины зерновок, позволяет получить достоверное снижение усилия разрушения зерновки по сравнению с контрольным, немикронизированным зерном. Полученный результат делает возможным использование размеров зерновок в качестве критерия достаточности микронизации.

Однако, как отмечалось выше, ввиду неравномерности нагрева не все зерна увеличиваются в размерах, что требует их выделения из общей массы для повторной отправки на микронизацию.

Проблему автоматической сортировки зерен после микронизации можно решить с помощью интеграции семяочистительной машины в технологическую линию микронизации фуражного зерна. Для обоснования последующих выводов и рекомендаций вернемся к допущению (см. выше), что перед началом эксперимента зерна имели одинаковые геометрические параметры. В условиях эксперимента зерна, оставшиеся после измерения усилия разрушения, были отсортированы по толщине на решетках со целевыми отверстиями размером 3 мм и 2,8 мм, в результате чего выделено 3 фракции зерен: с толщиной более 3 мм, от 2,8 до 3 мм и толщиной менее 2,8 мм. Доля зерен, толщина которых оказалась менее 2,8 мм, составила 36%, которые, согласно табл. 1, будем считать немикронизированными, хотя усилие разрушения зерновки в указанной порции составило порядка 85 Н. После повторной микронизации зерен с толщиной менее 2,8 мм количество зерен, толщина которых превысила 3 мм, составило 35%, от 2,8 до 3 мм – 27% и менее 2,8 мм – 38%. Таким образом, после повторной микронизации количество зерен, толщина которых оказалась меньше 2,8 мм, составило 14%, из чего следует, что повторная микронизация дала существенный эффект по увеличению количества зерна, провалившихся через отверстия 2,8 мм после первого этапа микронизации.

Из порции зерна, толщина которого после второго этапа микронизации составила менее 2,8 мм, были взяты три выборки, в каждой из которых было не менее 50 зерен и проверено усилие разрушения зерновок. При этом среднее усилие разрушения по трем выборкам из данной порции при отсутствии достоверного различия составило 59 Н, что на 31% меньше усилия разрушения до повторной микронизации. Это говорит о том, что принятое ранее допущение о равенстве геометрических параметров было ошибочным, и зерна, толщина которых после повторной микронизации не превысила 2,8 мм, были изначально мелкими и физически не могли достигнуть необходимой толщины. Полученный результат свидетельствует о том, что целесообразным является сортировка зерна по размерам до микронизации, что позволит микронизировать выравненное по размерам зерно в одной партии, тем самым повысив эффективность процесса микронизации.

**Выводы.** В результате эксперимента установлено, что при микронизации фуражного зерна отмечается неравномерность температурного воздействия, приводящая к тому, что часть зерен не получают необходимого количества тепловой энергии. Поскольку достоверное различие в размерах зерновок до и после микронизации дает достоверное различие и в усилии разрушения, ранее принимаемом в качестве критерия оценки, то в качестве критерия достаточности микронизации можно использовать геометрические параметры зерна, в частности, толщину зерновок. Для повышения эффективности процесса перед микронизацией целесообразно производить сортировку по размерам, что позволит обрабатывать выравненное по размерам зерно и минимизировать повторную обработку зерна. В то же время сортировка после микронизации позволит отделить немикронизированное зерно для его повторной микронизации. Повторная микронизация зерна, увеличения количества которого не произошло при первоначальной обработке, позволит снизить усилие разрушения зерновок.

#### Список источников литературы

1. Мамедов Н.Х. Тепловая обработка зерна // Аграрная наука. – 2015. – № 11. – С. 28–30.
2. Ebrahimi S.H. Feeding complete concentrate pellets containing ground grains or blend of steam-flaked grains and other concentrate ingredients in ruminant nutrition – a review // *Annals of Animal Science*. – 2020. Vol. 20. P. 11–28. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0055>.
3. Hanieh S., Seyed H.E., Seyed A. V. [et al.] Operational conditions and potential benefits of grains micronization for ruminant: A review // *Animal Feed Science and Technology*. 2022. Vol. 287. 115285. ISSN 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115285>.
4. Мишуров, Н. П. Инновационные способы тепловой обработки комбикормов / Н. П. Мишуров, С. А. Давыдова, А. А. Давыдов // *Техника и оборудование для села*. – 2019. – № 3. – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-3-2-7.
5. Сыроватка, В. И. Прогрессивные технологии производства комбикормов / В. И. Сыроватка // *Техника и оборудование для села*. – 2015. – № 11. – С. 2–6.
6. Белов, А. А. Технология и техническое средство для микронизации зерна / А. А. Белов, Г. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева*. – 2013. – № 4-2(80). – С. 27–30.
7. Кочанов, Д. С. Научное обеспечение процесса микронизации зерновых культур и разработка технологии производства комбикормов из микронизированного зерна : специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. С. Кочанов. – Воронеж, 2014. – 177 с.
8. Исследование основных конструктивных и режимных оптимальных параметров микронизатора при обработке зерновых кормов инфракрасным излучением / А. Д. Искендерова, Н. Х. Мамедов, И. А. Велиев [и др.] // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 3(43). – С. 113–119. – DOI 10.48136/2222-0364\_2021\_3\_113.
9. Оптимизация основных конструктивных и режимных параметров устройства микронизации / Н. Х. Мамедов, Б. З. Салманов, Г. Б. Мамедов, У. Т. Тагиев // *Аграрный научный журнал*. – 2021. – № 8. – С. 100–103. – DOI 10.28983/asj.y2021i8pp100-103.
10. Показатель для оценки достаточности микронизации зерна и определение его величины для пшеницы / В. Ф. Некрашевич, С. В. Корнилов, И. В. Воробьева, П. А. Силушин // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. – 2013. – № 2(18). – С. 66–69.
11. Киприянов, Ф. А. Применение коротковолнового излучателя для микронизации фуражного зерна / Ф. А. Киприянов, П. А. Савиных // *Сельский механизатор*. – 2023. – № 7. – С. 22–25. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-7-22-23-24-25.
12. Повышение качества фуражного зерна – высокотемпературная микронизация / С. В. Зверев, А. М. Соловьев, М. В. Барсуков, А. П. Попов. – Москва : ДеЛи принт, 2001. – 35 с. – ISBN 5-94343-002-4.
13. Zverev S., Sesikashvili, O. Heating and dehydration of grain and cereals at a combined energy supply (2018) *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12 (1), pp. 79–90, <https://doi.org/10.5219/840>

14. Zverev S., Karpov V., Klokonos M., Sorokin A., Masyagin G. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 848, 012021 (2021) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012021>

### References

1. Mamedov, N.Kh. Heat treatment of grain. *Agrarnaya nauka* [Agricultural Science], 2015, no. 11, pp. 28–30. (In Russ.)
2. Ebrahimi, S.H. Feeding complete concentrate pellets containing ground grains or blend of steam-flaked grains and other concentrate ingredients in ruminant nutrition – a review. *Annals of Animal Science*, 2020, vol. 20, pp. 11–28. (In English)
3. Hanieh S., Seyed H.E., Seyed A. V. [et al.] Operational conditions and potential benefits of grains micronization for ruminant: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 2022, Vol. 287, 115285. (In English)
4. Mishurov, N.P., Davydova, S.A., Davydov, A.A. Innovative methods of heat treatment of compound animal feeds. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and Equipment for Rural Areas], 2019, no. 3, pp. 2–7. (In Russ.)
5. Syrovatka, V. I. Advanced technologies for compound animal feed production. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and Equipment for Rural Areas], 2015, no. 11, pp. 2–6. (In Russ.)
6. Belov, A.A., Zaytsev, G.V., Kirillov, N. K. Technology and technical means for grain micronization. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni I.Ya. Yakovleva* [Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University named after I.Ya. Yakovlev], 2013, no. 4–2(80), pp. 27–30. (In Russ.)
7. Kochanov, D. S. *Nauchnoe obespechenie protsessa mikronizatsii zernovykh kul'tur i razrabotka tekhnologii proizvodstva kombikormov iz mikronizirovannogo zerna*. Kand.Diss. [Scientific support of the grain crop micronization process and development of technology for producing compound feeds from micronized grain. Cand. Diss.]. Voronezh, 2014. 177 p.
8. Iskenderova, A.D., Mamedov, N.Kh., Veliev, I.A. Investigation of the basic design and regime optimal parameters of the micronizer when processing grain feeds with infrared radiation. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University], 2021, no. 3(43), pp. 113–119. (In Russ.)
9. Mamedov, N.Kh., Salmanov, B.Z., Mamedov, G.B., Tagiev, U.T. Optimization of the basic design and operating parameters of the micronization device. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], 2021, no. 8, pp. 100–103. (In Russ.)
10. Nekrashevich, V.F., Kornilov, S.V., Vorob'eva, I.V., Silushin, P.A. An indicator for assessing the sufficiency of grain micronization and determining its value for wheat. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva* [Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev], 2013, no. 2(18), pp. 66–69. (In Russ.)
11. Kipriyanov, F. A., Savinykh, P.A. The use of a shortwave radiator for forage grain micronization. *Selskiy mekhanizator* [Rural mechanizer], 2023, no. 7, pp. 22–25. (In Russ.)
12. Zverev, S.V., Solov'ev, A.M., Barsukov, M.V., Popov, A.P. *Povyshenie kachestva furazhnogo zerna – vysokotemperaturnaya mikronizatsiya* [Improving the feed grain quality is high-temperature micronization]. Moscow, DeLi print Publ., 2001. 35 p.
13. Zverev, S., Sesikashvili, O. Heating and dehydration of grain and cereals at a combined energy supply. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 201812 (1), pp. 79–90. (In English)
14. Zverev, S., Karpov, V., Klokonos, M., Sorokin, A., Masyagin, G. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 848, 012021 (2021) (In English)

### Сведения об авторах

**Киприянов Федор Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетические средства и технический сервис», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934>, SPIN-код: 8937-8109, Scopus author ID: 57210311726, Researcher ID: ADI-1364-2022; e-mail: kipriyanovfa@bk.ru.

**Савиных Петр Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, зав. лабораторией механизации животноводства, федеральное государственное бюджетное научное

учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», <https://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, SPIN-код: 5868-9317, Scopus author ID: 56728791200, Researcher ID: V-6933-2017; e-mail: peter.savinyh@mail.ru.

**Максимов Иван Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-7740-0059>, SPIN-код: 4767-1381, Scopus author ID: 55791917100, Researcher ID: W-1237-2017; e-mail: maksimov48@inbox.ru.

#### Information about the authors

**Fedor A. Kipriyanov**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Energy Facilities and Technical Service department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin”, <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934>, SPIN-code: 8937-8109, Scopus author ID: 57210311726, Researcher ID: ADI-1364-2022; e-mail: kipriyanovfa@bk.ru.

**Petr A. Savinykh**, Doc. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Head of the Animal Husbandry Mechanization Laboratory, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy”, <https://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, SPIN-code: 5868-9317, Scopus author ID: 56728791200, Researcher ID: V-6933-2017; e-mail: peter.savinyh@mail.ru.

**Ivan I. Maksimov**, Doc. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Transport and Technological Machine and Complex department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Chuvash State Agrarian University”, <https://orcid.org/0000-0002-7740-0059>, SPIN-code: 4767-1381, Scopus author ID: 55791917100, Researcher ID: W-1237-2017; e-mail: maksimov48@inbox.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 03.07.2023; одобрена после рецензирования 27.09.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 03.07.2023; approved after reviewing 27.09.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 621.431.73.038

Код ВАК 4.3.1.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-116-125

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВАРИЙНО-ОПАСНЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНОГО И КОМБАЙНОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.Н. Ложкин<sup>1</sup> ✉, А.И. Фомичев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России имени героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия  
✉ vnlojkin@yandex.ru

**Реферат.** На основе анализа состояния аграрно-промышленного комплекса и международных требований экологической безопасности обосновывается актуальность развития теории и практики диагностики аварийно-опасных режимов эксплуатации тракторных и комбайновых дизелей. Цель исследования – выявить связи состава отработавших газов (ОГ), а именно:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  (дымность) с аварийно-опасными отклонениями от допустимых значений цикловой подачи ( $g_{ци}$ ), давления впрыскивания ( $P_\phi$ ), угла опережения впрыска ( $\theta$ ) топлива, пропускной способности распылителей форсунок ( $\mu f_{cp}$ ), а также оценить по ним наносимый ущерб населению. Материалами исследования являлись современные методологии контроля конструктивной безопасности дизелей с акцентированием внимания к методам безразборной диагностики по составу ОГ на режиме «свободного ускорения» (СУ). Испытания проводились по стандартным и оригинальным процедурам с математической обработкой данных измерений. Диагностика на режимах СУ организуется в два этапа: на первом этапе в табличной и/или графической форме получили информацию о составе ОГ в сопоставлении с отклонениями параметров топливоподачи, на втором – по уравнениям множественной регрессии связей параметров топливоподачи с составом ОГ идентифицировали «отказы» топливной аппаратуры с оценками экологического ущерба в натуральных и/или стоимостных показателях. Объект исследования – тракторный быстроходный дизель 4РЧ 11/12.5. Для воспроизведения режима СУ применялся электромеханический манипулятор оригинальной конструкции. Результаты исследования представлены графиками и уравнениями множественной регрессии, аппроксимирующими по степенной модели связь параметров топливоподачи с составом ОГ дизеля 4РЧ 11/12.5 на режимах СУ, с погрешностью (в %):  $g_{ци} - 0,157$ ;  $P_\phi - 0,112$ ;  $\mu f_{cp} - 0,068$ ;  $\theta - 0,799$ . По результатам исследования развита методология диагностики аварийно-опасных отклонений регулировок топливоподачи по составу ОГ с допустимой точностью оценок результатов. Инструментарий методологии доведен до уровня инженерной практики диагностики дизелей тракторного и комбайнового назначения.

**Ключевые слова:** тракторный и комбайновый дизель, эксплуатация, аварийные режимы, состав отработавших газов, регулировки топливоподачи, диагностика

**Цитирование.** Ложкин В.Н., Фомичев А.И. Теория и практика диагностирования аварийно-опасных режимов эксплуатации двигателей тракторного и комбайнового назначения // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73), – С. 116–125, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-116-125.

## THEORY AND PRACTICE OF DIAGNOSTICS EMERGENCY-DANGEROUS OPERATING MODES OF TRACTOR AND HARVESTER ENGINES

V.N. Lozhkin<sup>1</sup> ✉, A.I. Fomichev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia  
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E.N. Zinichev,  
St. Petersburg, Russia;*

<sup>2</sup>*Saint-Petersburg State Agrarian University,  
Pushkin, St. Petersburg, Russia  
✉ vnlojkin@yandex.ru*

**Abstract.** Based on the analysis of the state of the agro-industrial complex and international environmental safety requirements, the relevance of the development of the theory and practice of diagnosing emergency operation modes of tractor and combine diesel engines is substantiated. The purpose of the study is to identify the relationship between the composition of exhaust gases (EG), namely CO<sub>2</sub>, CO, CH, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub> (smokiness) with emergency-dangerous deviations from the allowable values of cyclic flow ( $g_{CN}$ ), injection pressure ( $P_{FI}$ ), advance angle injection ( $\theta$ ) of fuel, throughput capacity of injector nozzles ( $\mu f_{AV}$ ) and assess the damage caused to the population from them. The materials of the study were modern methodologies for monitoring the structural safety of diesel engines with an emphasis on methods of in-place diagnostics based on the composition of the exhaust gas in the “free acceleration” (FA) mode. The tests were carried out according to standard and original procedures with mathematical processing of measurement data. Diagnostics in FA modes is organized in two stages. At the first stage, in tabular and/or graphical form, information on the composition of the exhaust gas is obtained in comparison with the deviations of the fuel supply parameters. At the second stage, according to the equations of multiple regression of relationships between fuel supply parameters and EG composition, “failures” of fuel equipment are identified with estimates of environmental damage in natural and/or cost indicators. Research objects. Tractor high-speed diesel 4RCh 11/12.5. To reproduce the FA mode, an electromechanical manipulator of the original design was used. The results of the study are represented by graphs and equations of multiple regression, approximating, using a power-law model, the relationship between fuel supply parameters and the exhaust gas composition of a 4RCh 11/12.5 diesel engine in FA modes, with an error (in %):  $g_{CN} - 0.157$ ;  $P_{FI} - 0.112$ ;  $\mu f_{AV} - 0.068$ ;  $\theta - 0.799$ . Conclusions. A methodology has been developed for diagnosing emergency-dangerous deviations of fuel supply adjustments according to the composition of the exhaust gas with an acceptable accuracy of results estimates. The tools of the methodology have been brought to the level of engineering practice for diagnosing tractor and combine diesel engines.

**Keywords:** tractor and combine diesel engine, operation, emergency modes, exhaust gas composition, fuel supply adjustments, diagnostics

**Citation.** Lozhkin V.N., Fomichev A.I. (2023), "Theory and practice of diagnostics emergency-dangerous operating modes of tractor and harvester engines", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no. 4, pp. 116–125 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-116-125.

**Введение.** Новейшая история Российской Федерации 2000–2023 гг., после десятилетнего во многом «драматичного» для основной части производительного населения страны вхождения в «рыночный» уклад мировой экономики вместе с приобретением и усвоением «капитализации» отношений ознаменовалась конкурентными «сдерживающими» санкциями Западных стран, постепенным осознанием необходимости «суверенности» внутреннего экономического роста и государственной поддержки развития аграрно-промышленного комплекса (АПК) России. Последнее актуализировало задачи научной организации эксплуатации поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) тракторной и комбайновой техники на основе диагностирования ее отказов [1], сопровождающихся переходом в аварийно-опасные режимы работы [2] с выбросом в атмосферу CO, CH, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>. Контроль выброса отмеченных химических веществ в местах активной эксплуатации тракторной и комбайновой техники АПК, с одной стороны, не отличается от международно-признанной актуальной проблемы техногенного загрязнения воздушной среды поллютантами [3, 4] и губительного для населения планеты глобального изменения климата [5], а с другой – (благодаря проведенным фундаментальным и прикладным инструментальным исследованиям механизмов загрязнения воздушной среды химическими веществами от двигателей транспорта [6–8]), открыл возможность для практического решения важной «обратной» задачи безразборной диагностики технических причин отказов систем ДВС с использованием инструментального анализа состава отработавших газов (ОГ) [1, 4].

Научное решение последней из отмеченных прикладных задач, непосредственно связанной с проблемой поддержания в условиях реальной эксплуатации тракторов и комбайнов в технически исправном состоянии, связано с разработкой и внедрением наукоёмких инструментальных средств диагностики аварийно-опасных отказов систем двигателя, особенно топливной аппаратуры (ТА), и, в частности, аварийно-опасного нарушения оптимальных значений основных регулировочных параметров подачи топлива в цилиндры двигателя. Решению этой актуальной задачи посвящено данное исследование.

**Цель исследования.** На основании изучения положений теории рабочих процессов ДВС [9, 10] авторы [1] сформулировали гипотезу о том, что качественный и количественный состав ОГ двигателей с воспламенением от сжатия имеет непосредственную связь с реальным техническим состоянием систем двигателя в эксплуатации, в частности, с установочными регулировками топливоподачи и топливно-экономическими показателями тракторов и комбайнов, а с санитарно-гигиенической точки зрения дымовые частицы размеров ПМ<sub>10</sub> и ПМ<sub>2.5</sub> ОГ дизелей могут представлять высокую канцерогенную опасность для здоровья людей [5] в местах эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Из гипотезы актуализировалось решение задачи по развитию как теоретических, так и прикладных вопросов расширения применимости диагностирования аварийно-опасных отказов систем топливоподачи, выраженных в предельных для эксплуатации значениях отклонений установочных регулировок топливной аппаратуры от требований документации предприятия-изготовителя на основе закономерных эмпирических их связей с составом критичных компонент ОГ на выпуске: CO, CH, PM<sub>2.5</sub> (параметра, по физическому смыслу аутентичного среднему значению дымности ОГ в режиме «свободного ускорения» СУ – по действующему ГОСТ 23435-79 и далее в тексте статьи обозначается символом *K*), NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>.

Таким образом, цель исследования была сформулирована как поиск многопараметрических уравнений множественной регрессии, закономерно системно

связывающих компоненты состава ОГ ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ) с наиболее информативными параметрами топливоподачи [1] дизелей тракторного и комбайнового назначения, а именно: с  $g_{\text{ци}}$  – установочным значением цикловой подачи топлива на номинальном режиме работы дизеля,  $\text{мм}^3/\text{цикл}$ ;  $P_{\text{ф}}$  – установочным значением начального давления впрыскивания топлива, МПа;  $\mu_{\text{ср}}$  – усредненным значением (по цилиндрам) пропускной способности распылителей форсунок, выраженным в площади сечения сопловых отверстий,  $\text{мм}^2$ ;  $\Theta$  – установочным значением угла опережения впрыскивания топлива, град. п. к. в. (градусов поворота коленчатого вала).

Выявленные, (согласно сформулированной цели) путем диагностирования по составу ОГ значения предельных для эксплуатации отклонений установочных регулировок топливной аппаратуры предполагается в дальнейшем использовать для расчета вероятных ущербов от реализации последствий аварийно-опасных отказов, выраженных в натуральных и/или денежных показателях по ранее разработанной авторами [1, 4] методологии.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Новая методология диагностики и реализующий ее инструментарий разрабатывались на материалах, являющихся научным авторским заделом [1, 4]. Она является продолжением положительной мировой практики [2, 5, 6]. Следует напомнить, что в состав контролируемых параметров при проведении технической диагностики дизельных ДВС АПК согласно национальному стандарту РФ ГОСТ 23435-79 и Правилам № 24 ЕЭК ООН (Европейской Экономической Комиссии Организации Объединенных Наций) входит дымность ОГ, измеряемая при «свободном ускорении» (СУ) двигателя на «холостых ходах» (без подключения к внешней нагрузке). Ранее [1] детальное изучение стандартной процедуры испытания дизеля в режиме СУ, позволило авторам теоретически обосновать и довести до инженерной практики применения метод диагностики расхода/перерасхода горючего на основе измерения дымности ОГ в режиме СУ тракторов класса 14 кН при выполнении ими сельскохозяйственных работ [1]. В настоящей работе объектом исследования стал полноразмерный четырехцилиндровый рядный четырехтактный дизель с диаметром цилиндров 11 см и ходом поршня 12,5 см (Д-240) производства Минского моторного завода (ММЗ) с топливным насосом высокого давления (ТНВД) модели 4УТНИ. Двигатели ММЗ данной размерности с числом цилиндров 4 и 6 и атмосферного и турбонаддувного исполнения нашли сегодня широкое применение на предприятиях АПК России на тракторах 14 кН и более высоких тяговых классов производства Минского тракторного завода (МТЗ).

Дизель Д-240 испытывался в стендовых условиях на моторной испытательной станции ОАО ЦНИТА (Санкт-Петербург). Оснащение моторного стенда измерительным оборудованием соответствовало действующим международным стандартам, описания которых приведены в работах [1–4, 7, 8]. Для оценки дымности ОГ в режиме СУ применялся измеритель непрозрачности ОГ модели МК-3 «Хартридж» (Англия), для измерения газообразных компонент ОГ применялся газоаналитический модуль АСГА-Т (Россия). При осуществлении экспериментальных исследований, предусмотренных стандартом ГОСТ 23435-79 и Правилами № 24 ЕЭК ООН на режимах СУ, дизель разъединялся с тормозным устройством. При этом в течение всего испытательного цикла производилось непрерывное измерение дымности в стендовой газо-выпускной системе, а ОГ собирались в эластичную емкость, из которой после завершения испытательного цикла проба ОГ отбиралась в модуль АСГА-Т для анализа на качественный и количественный состав.



При реализации в стендовых условиях требуемого режима СУ критичными являются закономерность увеличения топливоподачи и воспроизводимость этой закономерности в многократно повторяющихся процедурах нагружения дизеля. В связи с этим для исключения влияния «человеческого фактора» на режим нагружения дизеля нами применялся специально разработанный электромеханический манипулятор, описание конструкции которого приводится в авторской работе [1]. За основу испытательного теста была взята процедура контроля исправного технического состояния дизельного двигателя по стандарту ГОСТ 23435-79, которая предусматривает осуществление оператором циклического привода механизма перемещения рейки ТНВД посредством педали акселератора из кабины неподвижного трактора. В стендовых условиях динамический режим СУ осуществлялся электромеханическим манипулятором непосредственно через рычаг управления механизмом привода рейки ТНВД испытываемого дизеля в следующей последовательности действий:

– интенсивное, но не резкое перемещение педали акселератора из исходного положения до упора за 1–2 с и последующее ее фиксирование на упоре 2–3 с. При разгоне от минимально устойчивой до максимальной частоты вращения коленчатого вала дизель нагружается инерционными силами ускоряющихся поступательно двигающихся и вращающихся собственных деталей, а также силами механического и гидродинамического трения в механизмах до коробки переключения передач. В зависимости от интенсивности перемещения педали акселератора (в стендовых условиях – рычага управления механизмом привода рейки ТНВД испытываемого дизеля) до упора на увеличение подачи топлива, отмеченные внутренние инерционные силы, нагружающие дизель, могут достичь кратковременно предельной величины, соответствующей режимам «внешней регуляторной характеристики». Именно такое условие и должно обеспечиваться в процедуре СУ согласно требованиям диагностического стандарта. Условно понимая, что дизель кратковременно «пробегает» по режимам «внешней скоростной» («регуляторной») характеристики [1, 10];

– «сброс» педали акселератора из положения, соответствующего полной подаче топлива, в исходное положение, соответствующее минимально устойчивой частоте вращения коленчатого вала дизеля на холостых ходах;

– «фиксирование» педали акселератора в исходном положении 8–10 сек. до полной стабилизации частоты вращения коленчатого вала и последующее возобновление процедуры нагружения с ее повторением не менее 6 раз.

Рабочей научно-методической гипотезой реализации процедуры СУ, подтверждение которой было одной из главных целей работы, являлось допущение (утверждение) постулата, выявленного нами в ходе предварительных теоретических изысканий [1–10]: применение режима СУ по предложенной нами методике его исполнения [1] в условиях реальной эксплуатации на тракторной и комбайновой технике АПК России даст возможность параллельно решить две важнейшие задачи, а именно: расширить номенклатуру контроля опасных химических веществ ОГ ( $PM_{2.5}$ , CO,  $NO_x$ , CH,  $CO_2$ ) и диагностировать аварийно-опасные отклонения регулировок ТА от штатных их значений, рекомендованных заводами-изготовителями дизелей. Методически доказательство научной гипотезы осуществлялось путем применения теории [1, 10] математического планирования и обработки данных факторного эксперимента на дизельном двигателе Д–240.

**Результаты исследования.** Теоретическое обоснование метода диагностирования аварийно-опасных режимов эксплуатации дизелей тракторного и комбайнового назначения по данным контроля дымности и состава ОГ в режиме СУ основано на анализе выявленных

экспериментальным путем уравнений множественной регрессии, аппроксимирующих эмпирические зависимости с необходимой точностью. Реализация разработанного диагностического подхода применительно к идентификации опасных отклонений регулировок топливоподачи решается в два этапа:

• 1 этап. Путем проведения эксперимента на дизеле Д-240 в режиме СУ устанавливается характер связи дымности и состава ОГ с отклонениями значений основных регулировочных параметров ТА  $g_{ци}$ ,  $P_{ф}$ ,  $\mu f_{ср}$ ,  $\Theta$  при их варьировании в пределах эксплуатационных отклонений по однофакторному плану (на рисунке для примера, показан фрагмент выявленных закономерностей в графической форме для угла опережения впрыскивания топлива в цилиндры  $\Theta$ ).

• 2 этап. Выявленный характер эмпирических закономерностей для удобства пользования ими в диагностических целях автоматизированным аналитическим путем с помощью цифровых вычислительных машин преобразуется в форму уравнений множественной регрессии связи основных регулировочных параметров ТА  $g_{ци}$ ,  $P_{ф}$ ,  $\mu f_{ср}$ ,  $\Theta$  с дымностью и составом ОГ ( $K$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $CH$ ,  $CO_2$ ) для режима СУ. Ниже, в качестве примера приводятся расчетные уравнения (2) ... (5) для дизеля Д-240 при аппроксимации в форме степенной модели (1).

Степенная модель вида

$$y = ax_1^{b1} \cdot x_2^{b2} \cdot x_3^{b3} \cdot x_4^{b4} \cdot x_5^{b5} \quad (1)$$

и соответствующие ей уравнения множественной регрессии:

$$g_{ци} = 174,484 \cdot K^{0,133} \cdot CH^{-1,132} \cdot NO_x^{0,243} \cdot CO_2^{34,869} \cdot CO^{-0,878}; \quad (2)$$

$$P_{ф} = 2,470 \cdot K^{-0,962} \cdot CH^{0,565} \cdot NO_x^{0,374} \cdot CO_2^{3,735} \cdot CO^{-0,019}; \quad (3)$$

$$\mu f_{ср} = 0,198 \cdot K^{0,248} \cdot CH^{0,009} \cdot NO_x^{-0,130} \cdot CO_2^{0,186} \cdot CO^{-0,044}; \quad (4)$$

$$\Theta = 460,849 \cdot K^{0,387} \cdot CH^{0,164} \cdot NO_x^{0,621} \cdot CO_2^{-4,910} \cdot CO^{-1,018} \quad (5)$$

где  $g_{ци}$  – установочное значение цикловой подачи топлива на номинальном режиме работы дизеля, мм<sup>3</sup>/цикл;

$P_{ф}$  – установочное значение начального давления впрыскивания топлива, МПа;  $\mu f_{ср}$  – пропускная способность распылителей форсунок, мм<sup>2</sup>;

$\Theta$  – установочный угол опережения впрыскивания топлива;

$K$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $CH$ ,  $CO_2$  – соответственно, интегральные значения дымности ОГ на режиме СУ, концентрации оксида углерода  $CO$ , млн<sup>-1</sup>; суммарных оксидов азота в пересчете на  $NO_2$ , млн<sup>-1</sup>; суммарных углеводородов, млн<sup>-1</sup>; диоксида углерода, об.%, измеренных после сбора ОГ при работе дизеля в режиме СУ в эластичную емкость (пробоотборный «мешок»).

Средняя погрешность аппроксимации (в %)  $g_{ци} - 0,157$ ;  $P_{ф} - 0,112$ ;  $\mu f_{ср} - 0,068$ ;  $\theta - 0,799$ .

Как можно заключить из анализа точности оценок, применение в диагностических расчетах предложенной математической модели с высокой степенью надежности (сходимости данных расчета с данными экспериментальных исследований) позволяет идентифицировать по комплексу измеренных значений  $K$ ,  $CH$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  в режиме СУ значения основных регулировочных параметров топливной аппаратуры. Несложно рассчитываемые в дальнейшем искомые отклонения расчетных значений диагностических параметров ТА от их предельных значений (установленных согласно требованиям технической документации предприятия-изготовителя дизеля) позволяют по соответствующим методикам [1–4],

произвести оценку степени опасности технических «отказов» ТА в эксплуатации в натуральных и/или стоимостных выражениях наносимого обществу ущерба.

Относительно более высокая точность оценок значений диагностируемых регулировочных параметров ТА дизелей тракторной и комбайновой техники и, следовательно, производных от них значений степени опасности аварийных режимов ее эксплуатации, очевидно, связана с тем, что в предложенном методе задействовано 5 характеристик состава отработавших газов, каждая из которых имеет «специфично свою» физико-химическую природу образования [1, 2–4, 6–10] в первоисточнике – камерах сгорания дизеля.

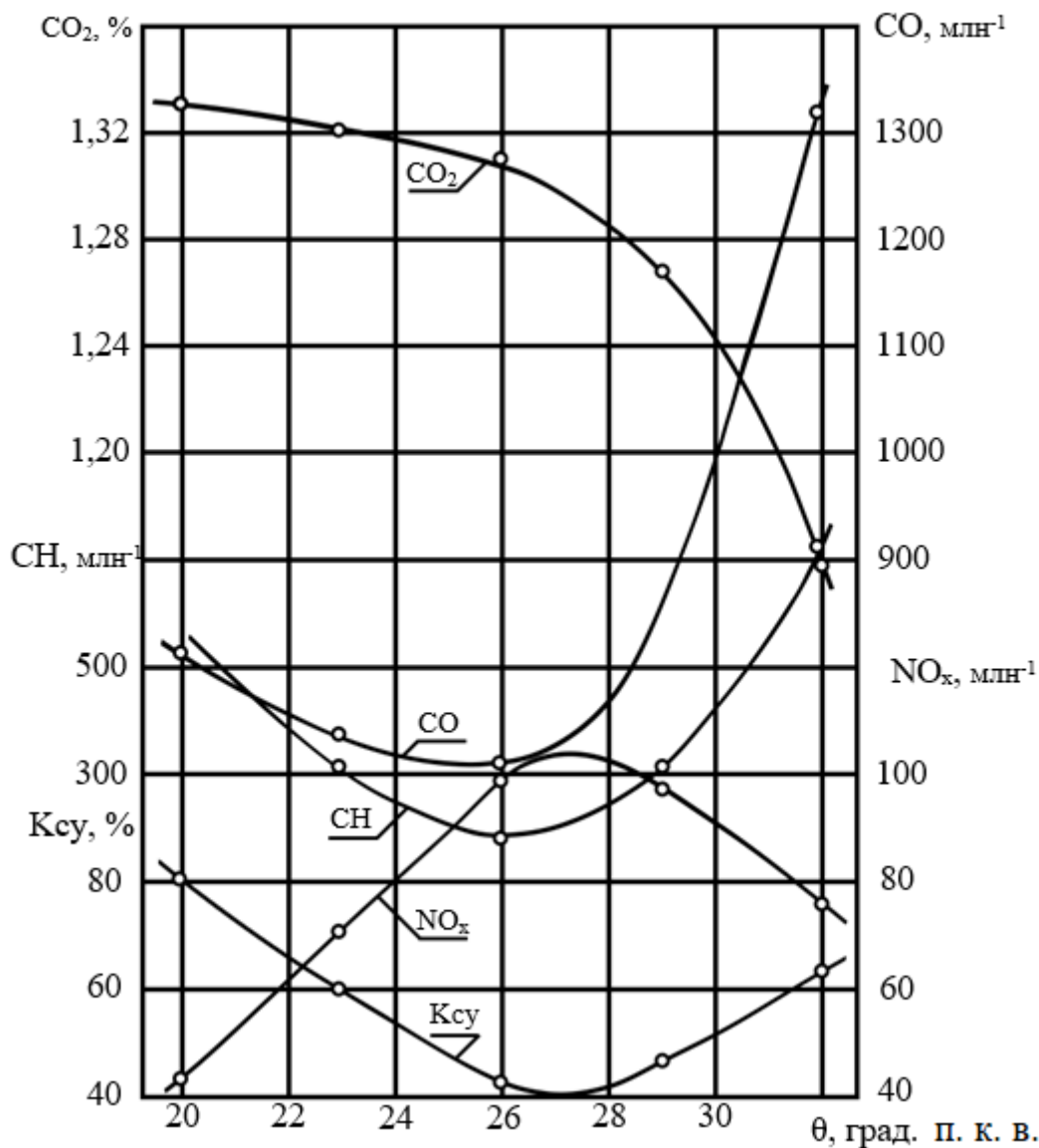


Рисунок. Связь дымности и состава отработавших газов с отклонениями значений  $\theta$  дизеля Д-240 в режиме «свободного ускорения»

Picture. Relationship of smokiness and composition of exhaust gases with deviations in the values of a D-240 diesel engine in the "free acceleration" mode

**Выводы.** Ранее разработанным авторами статьи путем теоретических и экспериментальных изысканий, методом контроля потребления/перерасхода топлива поршневыми дизельными двигателями [1] для сельскохозяйственной техники при разгоне без

внешней нагрузки не исчерпываются возможности методологии нагружения силами инерции в тестовом режиме СУ для диагностирования опасных отказов дизелей тракторной и комбайновой техники АПК России в эксплуатации. Это обусловлено тем, что каждый отказ, связанный с нарушением рабочего процесса двигателя, обязательно проявляется в изменении показаний дымности и состава ОГ.

Представленные теоретические и экспериментальные обоснования по расширению применимости методологии нагружения дизеля в режиме СУ подтвердили состоятельность выполнения технического диагностирования по комплексу параметров К, СН, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, СО, измеренных оригинальным способом в режиме СУ и закономерно-специфично связанных с аварийно-опасными нарушениями основных регулировок топливopодачи, используемых в качестве критериев диагностической идентификации отказов ТА в условиях реальной эксплуатации тракторной и комбайновой техники в АПК РФ.

Достоинством оригинального метода технического диагностирования отказов ТА поршневых дизельных двигателей является то, что он построен на процедуре контроля технического состояния дизелей тракторного и комбайнового назначения в эксплуатации по национальному стандарту ГОСТ 23435-79 «Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров» и обеспечивает достаточно-высокую точность оценки диагностических критериев, в %:  $g_{\text{дн}} - 0,157$ ;  $P_{\phi} - 0,112$ ;  $\mu f_{\text{ср}} - 0,068$ ;  $\theta - 0,799$ .

Путем теоретического и экспериментального анализа дымности и состава ОГ на режиме свободного ускорения разработан оригинальный метод технического диагностирования отказов в виде нарушения основных регулировок топливной аппаратуры относительно требований документации заводов-производителей двигателей, идентифицируемых как аварийно-опасные режимы эксплуатации двигателей тракторного назначения. В дальнейшем с целью расширения применимости полученных результатов на двигателе Д-240 целесообразно провести проверку разработанного метода на тракторных двигателях других модификаций.

### Список источников литературы

1. Ложкин, В.Н., Фомичев, А.И., Ложкина, О.В. Диагностика экологических и топливно-экономических показателей тракторных и автомобильных двигателей по дымности отработавших газов / Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 35. – С. 74–79.
2. Song, H.Y., Hwang, K., Park, H.S. et al (2023), Estimating vehicular emission factors and vehicle-induced turbulence: Application of an air quality sensor array for continuous multipoint monitoring in a tunnel, *Atmospheric pollution research*, vol. 14, no. 7. DOI: 10.1016/j.apr.2023.101799.
3. Chorowski, M., Lepszy, M., Machaj, K. et al (Jul, online, 2023) Challenges of Application of Green Ammonia as Fuel in Onshore, *Transportation. Energies*, Vol. 16, no. 13. DOI: 10.3390/en16134898.
4. Lozhkina, O., & Lozhkin, V. (2016), Estimation of nitrogen oxides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: Effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on emission rates, *Transportation, Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 47, pp. 251-264. DOI: 10.1016/j.trd.2016.06.008.
5. Al-Delaimy W., Ramanathan V., Sorondo M. Health of people, health of planet and our responsibility: Climate change, air pollution and health. *Springer*, 2020. 417 p. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.

6. Pal, A., Mondal, K., Panda, B., Pradhan, M. (Jul,1, online, 2023), Development of a compact 406 nm diode laser-based cavity-enhanced spectrometer for high-sensitive detection of NO<sub>2</sub> levels in exhaust gas, *Laser Physics Letters*, Vol. 20, no. 7. DOI: 10.1088/1612-202X/acd927.
7. Марков, В.А., Девянин, С.Н., Са Бовэнь, Нормуродов, А.А. Исследование работы дизельного двигателя на смесевых и эмульгированных биотопливах с добавками рапсового масла. *Двигателестроение*, – 2023, – № 1 (291), – С. 70–90. DOI: <https://doi.org/10.18698/jec.2023.1.70-90>.
8. Дунин, А.Ю., Шатров, М.Г., Голубков, Л.Н., Трофименко, Ю.В. Применение интегрированного расчетно-экспериментального комплекса для разработки и доводки рабочих процессов дизеля с аккумуляторной топливной системой / *Двигателестроение*. – 2022. – № 1 (287). – С. 32–44.
9. Абызов, О.В., Галышев, Ю.В., Иванов, А.К., Метелев, А.А. Моделирование индикаторного процесса автомобильного газового двигателя при его работе на аммиаке. *Двигателестроение*. – 2023, – № 1 (291). – С. 64–69. DOI: <https://doi.org/10.18698/jec.2023.1.64-69>.
10. Зейнетдинов Р.А. Энергодинамика поршневых двигателей: монография. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 272 с.

### References

1. Lozhkin, V.N., Fomichev, A.I. and Lozhkina, O.V. (2017), "Diagnosis of environmental and fuel-economic indicators of tractor and automobile engines by exhaust smoke", *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*, no. 35, pp. 74-79.
2. Song, H.Y., Hwang, K., Park, H.S. et al (2023), "Estimating vehicular emission factors and vehicle-induced turbulence: Application of an air quality sensor array for continuous multipoint monitoring in a tunnel", *Atmospheric pollution research*, vol. 14, no. 7. DOI: 10.1016/j.apr.2023.101799.
3. Chorowski, M., Lepszy, M., Machaj, K. et al (Jul, online, 2023), Challenges of Application of Green Ammonia as Fuel in Onshore Transportation, *Energies*, vol. 16, no. 13. DOI: 10.3390/en16134898.
4. Lozhkina, O., & Lozhkin, V. (2016), "Estimation of nitrogen oxides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: Effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on emission rates", *Transportation, Research Part D: Transport and Environment*, vol. 47, pp. 251-264. DOI: 10.1016/j.trd.2016.06.008.
5. Al-Delaimy, W., Ramanathan, V. and Sorondo, M. (2020), "Health of people, health of planet and our responsibility: Climate change, air pollution and health", *Springer*, 417 p. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
6. Pal, A., Mondal, K., Panda, B. and Pradhan, M. (1 July 2023), "Development of a compact 406 nm diode laser-based cavity-enhanced spectrometer for high-sensitive detection of NO<sub>2</sub> levels in exhaust gas", *Laser Physics Letters*, vol. 20, no. 7. DOI: 10.1088/1612-202X/acd927.
7. Markov, V.A., Devyanin, S.N., Sa, Boven' and Normurodov, A.A. (2023), "Study of the operation of a diesel engine on mixed and emulsified biofuels with rapeseed oil additives", *Dvigatolestroyeniye*, vol. 1, no. 291, pp. 70–90. DOI: <https://doi.org/10.18698/jec.2023.1.70-90>.
8. Dunin, A.YU., Shatrov, M.G., Golubkov, L.N. and Trofimenko, YU.V. (2022), "The use of an integrated calculation and experimental complex for the development and refinement of the working processes of a diesel engine with a storage fuel system", *Dvigatolestroyeniye*, vol. 1, no. 287, pp. 32–44.
9. Abuzov, O.V., Galyshev, YU.V., Ivanov, A.K. and Metelev (2023), "Simulation of the indicator process of an automobile gas engine when it works on ammonia", *Dvigatolestroyeniye*, Vol. 1, no. 291, pp. 64-69. DOI: <https://doi.org/10.18698/jec.2023.1.64-69>.
10. Zeynutdinov, R.A. (2018), *Energodinamika porshnevykh dvigateley: monografiya [Energodynamics of piston engines: monograph]*, Saint-Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia.

**Сведения об авторах**

**Ложкин Владимир Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Пожарная, аварийно-спасательная техника и автомобильное хозяйство», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева», Санкт-Петербург, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>, SPIN-код: 9496-2451, Scopus author ID: 56566370300, Researcher ID: AAG-8811-2019; e-mail: vnlojkin@yandex.ru.

**Фомичев Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; SPIN-код: 7957-8297; e-mail: aif-57@mail.ru.

**Information about the authors**

**Vladimir N. Lozhkin**, Doc. Sci. (Eng.), Professor at the Department of Fire, Rescue Equipment and Automobile Economy; Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Fire Service University of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after the Hero of the Russian Federation, Army General E.N. Zinichev"; 196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky prospect, 149; SPIN-code: 9496-2451, Scopus author ID: 56566370300, Researcher ID: AAG-8811-2019; e-mail: vnlojkin@yandex.ru.

**Alexander I. Fomichev**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor; Associate Professor at the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", St. Petersburg, Russia; SPIN-code: 7957-8297, e-mail: aif-57@mail.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 15.08.2023; одобрена после рецензирования 13.10.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 15.08.2023; approved after reviewing 13.10.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК621.385.6;637.123

Код ВАК 4.3.2

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-126-137

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СВЧ-УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЖИРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ УБОЯ ЖИВОТНЫХ

Е.В. Воронов<sup>1</sup> ✉, Г.В. Новикова<sup>1</sup>, М.В. Просвирякова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,  
г. Княгинино, Нижегородская обл., Россия

✉ e\_voronov@list.ru

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,  
г. Москва, Россия

**Реферат.** Научной задачей является разработка и обоснование параметров радиогерметичной установки для термообработки и обеззараживания в непрерывном режиме жиросодержащих отходов убоя животных в коническом резонаторе со сверхвысокочастотным энергоподводом при измельчении отходов многократными ударами об абразивную поверхность резонатора и истирании при их сжатии со сдвигом. Установка (рис. 1) содержит в неферромагнитном коническом резонаторе соосно расположенный электроприводной фторопластовый ротор 5 на фторопластовом валу 13. Конический резонатор выполнен из неферромагнитного конуса 4 без оснований, жестко установлен на неферромагнитный цилиндр 6, 10 над отверстием равного диаметра по центру его верхнего основания. Над кольцевым основанием цилиндра жестко установлена верхняя кольцевая керамическая дека 7 с абразивной поверхностью. Фторопластовый ротор представлен в виде конуса 5 с перфорированной образующей, по периметру которой жестко прикреплена нижняя керамическая кольцевая перфорированная дека 8 с абразивной поверхностью. Фторопластовая образующая ротора и внутренняя поверхность конуса 4 покрыты острошероховатым крупнозернистым абразивным материалом. Под перфорированным основанием цилиндра 10 жестко закреплен неферромагнитный конический накопитель 11 с запердельным волноводом 12 и шаровым краном в нем. Над выгрузным отверстием на основании цилиндра установлена неферромагнитная приемная емкость 14 с неферромагнитным электроприводным винтовым шнеком 15. Магнетроны 16 размещены по периметру неферромагнитной образующей конуса со сдвигом на 120 градусов, а неферромагнитная загрузочная емкость 1 – на вершине неферромагнитного конуса. В качестве исследуемого сырья использовали желудок жвачных животных (рубец, сычуг, книжку, сетку). При окружной скорости ротора, равной 6,7 м/с, производительность СВЧ-установки общей мощностью генераторов 3,3 кВт составляет 30...35 кг/ч при загрузке в резонатор 2,5...3 кг предварительно измельченного сырья с размером фракций 2-3 см.

**Ключевые слова:** конический резонатор, фторопластовый ротор, абразивная поверхность, дека, непрерывный режим, электромагнитное поле сверхвысокой частоты

**Цитирование.** Воронов Е. В., Новикова Г. В., Просвирякова М. В. Исследование и разработка СВЧ установки для термообработки и обеззараживания жиросодержащих отходов убоя

животных // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. № 4 (73). С. 126–137, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-126-137.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MICROWAVE INSTALLATION FOR HEAT TREATMENT AND DISINFECTION FAT-CONTAINING ANIMAL SLAUGHTER WASTE

E.V. Voronov<sup>1</sup> ✉, G.V. Novikova<sup>2</sup>, M.V. Prosviryakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics,  
 Knyaginino, Nizhny Novgorod region, Russia

✉ e\_voronov@list.ru

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,  
 Moscow, Russia

**Abstract.** The scientific task is to develop and substantiate the parameters of a radio-hermetic installation for heat treatment and disinfection in a continuous mode of fat-containing animal slaughter waste in a conical resonator with an ultrahigh-frequency energy supply during grinding by repeated blows against the abrasive surface of the resonator and erasing during shear compression. The installation (Fig. 1) contains in a non-ferromagnetic conical resonator, a coaxially arranged electrically driven fluoroplastic rotor 5 on a fluoroplastic shaft 13. The conical resonator is made of a non-ferromagnetic cone 4 without bases, rigidly mounted on a non-ferromagnetic cylinder 6, 10, above a hole of equal diameter in the center of its upper base. An upper annular ceramic deck 7 with an abrasive surface is rigidly mounted above the annular base of the cylinder. The fluoroplast rotor is presented in the form of a cone 5 with a perforated generatrix, along the perimeter of which a lower ceramic annular perforated deck 8 with an abrasive surface is rigidly attached. The fluoroplastic forming part 5 of the rotor and the inner surface of the cone 4 are covered with a rough coarse-grained abrasive material. Under the perforated base of the cylinder 10, a non-ferromagnetic conical accumulator 11 with an exorbitant waveguide 12 and a ball valve in it is rigidly fixed. Above the discharge hole on the base of the cylinder, a non-ferromagnetic receiving tank 14 with a non-ferromagnetic electrically driven screw 15 is installed. Magnetrons 16 are placed along the perimeter of the non-ferromagnetic cone generator with a shift of 120 degrees, and the non-ferromagnetic loading tank 1 is at the top of the non-ferromagnetic cone 4. The stomach of ruminants (rumen, abomasum, omasum, reticulum) was used as the studied raw materials. With a circumferential speed of the rotor equal to 6.7 m / s, the performance of the microwave installation, with a total power of 3.3 kW generators is 30 ... 35 kg / h, when loaded into the resonator 2.5 ... 3 kg of pre-crushed raw materials, with dimensions of 2..3 cm.

**Keywords:** conical resonator, fluoroplastic rotor, abrasive surface, soundboard, continuous mode, ultrahigh frequency electromagnetic field

**Citation:** Voronov, E. V., Novikova, G. V., Prosviryakova, M. V. "Research and development of microwave installation for heat treatment and disinfection of fat-containing animal slaughter waste", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73 , no. 4, pp. 126–137 (in Russ.) doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-126-137.

**Введение.** Отходы убоя животных, допущенные ветеринарной службой к переработке, используются при производстве кормов для животных. Указанные отходы включают в себя мягкие и вязкие отходы, в частности, камеры желудков жвачных животных, т. е. жиросодержащее некондиционное сырье. Из него вытапливают технический жир и шквару



для корма животных. Для извлечения жира из мягкого жиросодержащего сырья необходимо разрушить белковую структуру, содержащую жир, перевести его из внутренней фазы во внеклеточную, свободную фазу и затем переместить во внешнюю среду. Для этих целей применяют конвективный метод (при непосредственном контакте сырья с горячей водой или острым паром) и кондуктивный метод (теплота подводится через стенку от глухого пара или горячей воды) подвода тепла. К недостаткам аппарата относится большая продолжительность контакта сырья с высокотемпературным теплоносителем, что снижает качество жира и шквары.

При термообработке отходов убоя (например, желудков жвачных животных) следует проводить их разварку, обеззараживание и нейтрализацию запаха. Поэтому необходимо применить инновационный способ с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) высокой напряженности электрического поля, достаточной для обеззараживания сырья (более 1,2 кВ/см). В научной школе НГИЭУ имеются разработанные и апробированные СВЧ-установки для термообработки мясного сырья [1–3], но они достаточно энергозатратные. Для снижения энергетических затрат на термообработку следует провести воздействие ЭМП СВЧ на тонко измельченное сырье, полученное при его многократных ударах об острошероховатую поверхность деки и конуса из крупнозернистого абразивного материала и истирании сжатием со сдвигом. Эти методы заложены в известный шелушильный постав для зерна, где рабочие органы – два диска с вертикальной осью. Верхний диск неподвижен, а нижний диск вращается на вертикальном валу. Рабочая поверхность дисков выполнена из абразивного материала (корунда). В регулируемом зазоре между дисками зерно сжимается, и в результате вращения нижнего диска происходит сдвиг оболочек, освобождающих ядро. По аналогии с конструкцией шелушильного поста разработана СВЧ-установка с нестандартным коническим резонатором для термообработки в непрерывном режиме при измельчении жиросодержащих отходов убоя животных.

*Научная задача* – разработать и обосновать параметры радиогерметичной установки для термообработки и обеззараживания в непрерывном режиме жиросодержащих отходов убоя животных в нестандартном коническом резонаторе со сверхвысокочастотным энергоподводом при измельчении методами многократных ударов об абразивную поверхность резонатора и истирания при сжатии со сдвигом.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Исследования распределения теплового потока по поверхности сырья при термообработке в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) проводили тепловизором FLIRi335. Распределение электромагнитного поля в резонаторе исследовали в программе CST Studio Suite [4–6]. В качестве исследуемого сырья использовали камеру желудка жвачных животных (рубец, сычуг, книжку, сетку) (рис. 1) из убойного цеха «КФХ Пирогова Р.А.» по адресу: Нижегородская область, село Спасское, ул. Новая, дом 23. Принцип функционирования данного оборудования основан на механизме работы шелушильного поста зерна. Эффективность установки во многом зависит от ассортимента мясных отходов убоя животных. Возможность обеспечения радиогерметичности при непрерывном режиме работы СВЧ-установки при использовании ферромагнитного спирального шнека и заградительного волновода согласована с методикой Е. В. Титова [7, 8].



Рисунок 1. Исследуемое сырье (камеры желудка крупного рогатого скота)  
 Figure 1. Raw materials under study (cattle stomach chambers)

**Результаты исследований.** СВЧ-установка для термообработки и обеззараживания в непрерывном режиме жиросодержащих отходов убоя животных показана на рис. 2. Она содержит неферромагнитный нестандартный конический резонатор. Он расположен вертикально, выполнен из конуса 4 и цилиндра с верхним кольцевым основанием 6 и неферромагнитным перфорированным нижним основанием 10. Внутри конического резонатора соосно расположен электроприводной фторопластовый ротор 5 на фторопластовом валу 13. Электропривод, имеющий механизм изменения зазора между деками 7, 8, расположен за пределом корпуса установки. Над неферромагнитным верхним кольцевым основанием цилиндра жестко установлена верхняя кольцевая керамическая дека 7 с абразивной поверхностью. Фторопластовый ротор представлен в виде фторопластовой конической перфорированной образующей, по периметру которой жестко прикреплена нижняя кольцевая керамическая перфорированная дека 8 с острошероховатой крупнозернистой абразивной поверхностью, установленной на диэлектрической раме 9, расположенной на фторопластовом валу 13. Фторопластовый перфорированный конус ротора покрыт острошероховатым крупнозернистым абразивным материалом. Под нижним основанием 10 цилиндра жестко закреплен неферромагнитный конический накопитель 11 с запердельным волноводом 12 и шаровым краном. Верхнее неферромагнитное кольцевое основание 6 цилиндра жестко закреплено по периметру образующей неферромагнитного конуса 4. Под основание цилиндра, где на периферии имеется выгрузное отверстие, установлена неферромагнитная приемная емкость 14 с неферромагнитным электроприводным винтовым шнеком 15. Магнетроны 16 с волноводами и вентиляторами размещены по периметру конуса со сдвигом на 120 градусов. Неферромагнитная загрузочная емкость 1 с неферромагнитным электроприводным спиральным шнеком и неферромагнитной задвижкой 2 размещена на вершине неферромагнитного конуса.

Технологический процесс термообработки, обеззараживания жиросодержащих отходов убоя животных в СВЧ-установке с коническим резонатором происходит следующим способом. Загружают предварительно измельченные куски отходов убоя животных в загрузочную емкость при закрытой задвижке. Включают электропривод 13 для вращения фторопластового ротора с конической перфорированной образующей 5, состыкованной с нижней кольцевой перфорированной керамической декой 8 на диэлектрической раме 9. Включают электропривод неферромагнитного спирального шнека 3 и открывают задвижку 2 в неферромагнитной загрузочной емкости 1.

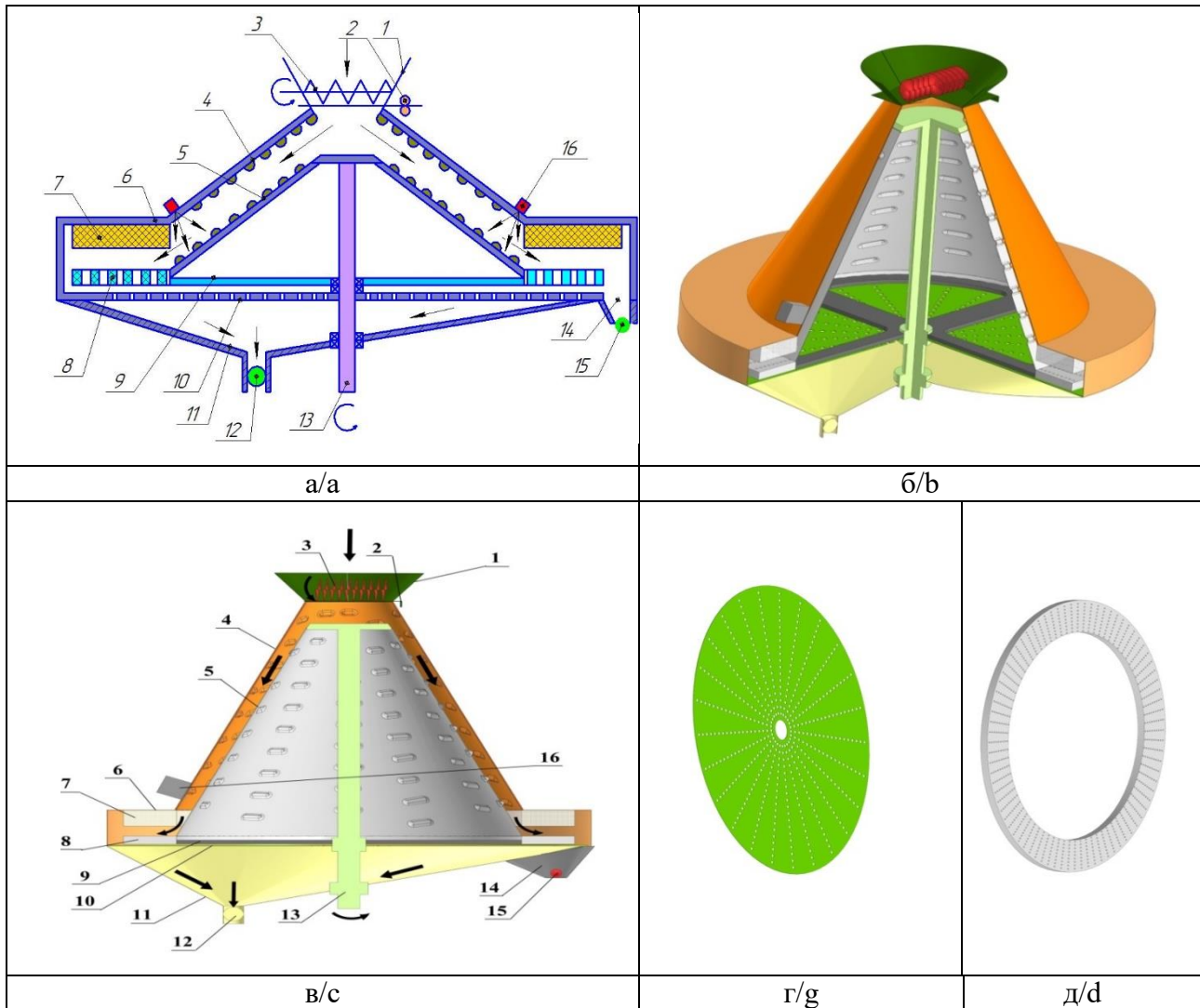


Рисунок 2. СВЧ-установка с коническим резонатором для термообработки и обеззараживания в непрерывном режиме жиросодержащих отходов убоя животных:

а) схематическое изображение; б) общий вид в разрезе; в) общий вид в разрезе, с позициями; г) нижнее перфорированное основание цилиндра; д) нижняя керамическая кольцеобразная перфорированная дека с абразивной поверхностью;

1 – загрузочная емкость с заслонкой 2; 3 – электроприводной спиральный шнек;

4 – коническая образующая резонатора с абразивной внутренней поверхностью;

5 – фторопластовая коническая образующую ротора с острошероховатой поверхностью из крупнозернистого абразивного материала; 6 – неферромагнитный цилиндр с верхним кольцевым основанием и перфорированным нижним основанием 10; 7 – верхняя керамическая кольцеобразная дека с абразивной поверхностью; 8 – нижняя керамическая кольцеобразная перфорированная дека с абразивной поверхностью; 9 – диэлектрическая рама; 11 – неферромагнитный конический накопитель жира; 12 – запредельный волновод с шаровым краном; 13 – фторопластовый вал; 14 – приемная емкость с электроприводным винтовым шнеком 15; 16 – волноводы с магнетронами и вентиляторами

Figure 2. Microwave installation with a conical resonator for heat treatment and disinfection in continuous mode of fat-containing animal slaughter waste:

a) schematic representation; б) general view in section; в) general view in section, with positions; г) lower perforated cylinder base; е) lower ceramic ring-shaped perforated deck with an abrasive surface;

1 – loading tank with flap 2; 3 – electric spiral screw; 4 – conical resonator generator with an abrasive inner surface; 5 – fluoroplastic conical rotor forming with a rough surface made of coarse-grained abrasive material;

6 – non-ferromagnetic cylinder with an upper annular base and a perforated lower base 10; 7 – upper ceramic annular deck with an abrasive surface; 8 – a lower ceramic ring-shaped perforated deck with an abrasive surface; 9 – a dielectric frame;

11 – a non-ferromagnetic conical fat accumulator; 12 – an exorbitant waveguide with a ball valve; 13 – fluoroplastic shaft; 14 – receiving tank with electric screw 15; 16 – waveguides with magnetrons and fans

Кусковое сырье попадает на перфорированную образующую фторопластового конуса 5 с крупнозернистой абразивной поверхностью и начинает измельчаться за счет многократного удара об абразивные поверхности неферромагнитного конуса 4 и фторопластового конуса. Между верхней 7 и нижней 8 керамическими деками с абразивными поверхностями сырье тонко измельчается методом сжатия и сдвига. После этого включают магнетроны 16 воздушного охлаждения, тогда в коническом неферромагнитном резонаторе (4, 6, 10) возбуждается электромагнитное поле сверхвысокой частоты (2450 МГц, длина волны 12,24 см). В области расположения керамических дек 7, 8 (в конденсаторной части резонатора) концентрируется электрическое поле высокой напряженности (1,2...4 кВ/см), что обеспечивает снижение бактериальной обсемененности при тонком измельчении сжатием и сдвигом.

За счет токов поляризации тонкоизмельченное жиросодержащее сырье в ЭМПСВЧ нагревается до 85...95°C, жир вытапливается и стекает через перфорированное неферромагнитное основание 10 в неферромагнитную накопительную емкость с запердельным волноводом 12, через который его можно слить, открыв шаровой кран. Шквара за счет центробежной силы сбрасывается на периферию, к боковой поверхности неферромагнитного цилиндра, и через отверстие на неферромагнитном перфорированном основании 10 попадает в приемную емкость 14, откуда при помощи неферромагнитного винтового шнека 15 удаляется. Винтовой шнек ограничивает излучение через отверстие, предназначенное для выгрузки продукта.

Из электродинамических параметров системы «генератор-резонатор» проведены расчет собственной добротности нестандартного конического резонатора [9] как основной показатель оценки КПД и исследования распределение напряженности в нем электрического поля в программе CST Studio Suite [4–6]. Эти исследования проведены путем вычисления объема ( $V$ , м<sup>3</sup>) и площади поверхности стенок алюминиевого резонатора ( $S$ , м<sup>2</sup>), с учетом толщины скин-слоя ( $\Delta = 1,72$  мкм) при частоте 2450 МГц. В этом случае собственную добротность резонатора вычисляли по формуле:

$$Q = k \cdot 2 \cdot V / S \cdot \Delta, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий снижение площади поверхности резонатора за счет перфорации основания ( $k = 0,5$ ).

Объем и площадь поверхности нестандартного конического резонатора (рис. 3) вычисляли по формулам 2-7.

Объем и площадь поверхности конической части резонатора:

$$V_{кон} = \pi \cdot r^2 \cdot h / 3 = 3,14 \cdot 30,6^2 \cdot 61,2 / 3 = 59980 \text{ см}^3. \quad (2)$$

$$S_{кон} = \pi \cdot r \cdot l = 3,14 \cdot 30,6 \cdot 68,42 = 6574,07 \text{ см}^2. \quad (3)$$

Объем и площадь поверхности цилиндрической части резонатора:

$$V_{цил} = \pi \cdot R^2 \cdot H = 3,14 \cdot 42,84^2 \cdot 9 = 51864,6 \text{ см}^3. \quad (4)$$

$$S_{\text{цил}} = \pi \cdot (R^2 + 2 \cdot R \cdot H + R^2 - r^2) =$$

$$3,14 \cdot (42,84^2 + 2 \cdot 42,84 \cdot 9 + 42,84^2 - 30,6^2) = 3505,3 \text{ см}^2. \quad (5)$$

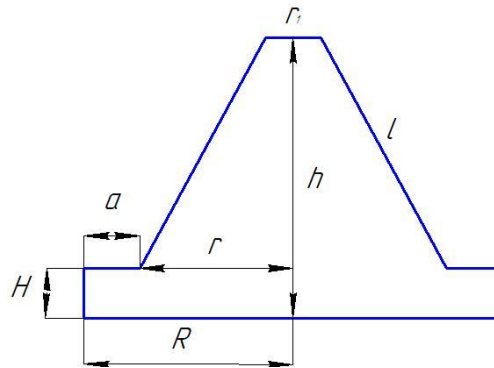


Рисунок 3. Размеры нестандартного конического резонатора  
( $a = 12,24$  см,  $R = 42,84$  см,  $r = 30,6$  см,  $h = 61,2$  см,  $H = 9$  см)

Figure 3. Dimensions of a non-standard conical resonator  
( $a = 12,24$  см,  $R = 42,84$  см,  $r = 30,6$  см,  $h = 61,2$  см,  $H = 9$  см)

Объем и площадь поверхности нестандартного конического резонатора:

$$V_{\text{рез}} = V_{\text{кон}} + V_{\text{цил}} = 59980 + 51864,6 = 11844,6 \text{ см}^3. \quad (6)$$

$$S_{\text{рез}} = S_{\text{кон}} + S_{\text{цил}} = 6574,07 + 3505,3 = 10079,37 \text{ см}^2. \quad (7)$$

Собственная добротность нестандартного конического резонатора:

$$Q = k \cdot 2 \cdot V / S \cdot \Delta = 0,5 \cdot 2 \cdot 11844,6 \cdot 10^{-2} / 10079,37 \cdot 1,72 \cdot 10^{-6} = 6832. \quad (8)$$

Расчеты показывают, что собственная добротность резонатора такой конструкции находится в пределах 7000, а следовательно, термический КПД может составить 0,68. Результаты моделирования трехмерных структур электромагнитного поля в нестандартном коническом резонаторе с тремя магнетронами, полученные в программе CST Studio Suite (вычислительный модуль Time Domain Solver) [4–6], приведены на рис. 4.

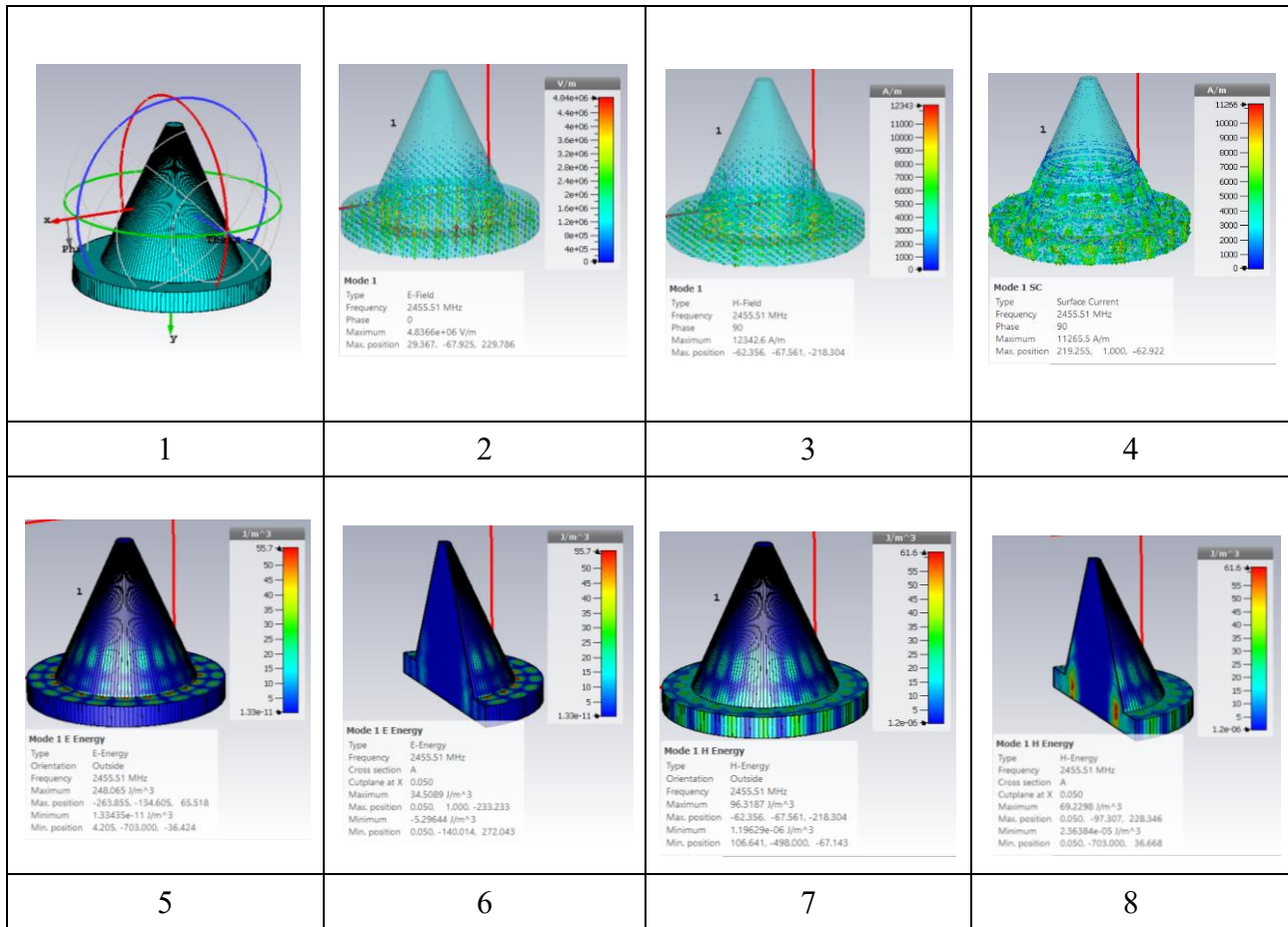


Рисунок 4. Результаты исследования электродинамических параметров системы «генератор-резонатор» (мода 1):

- 1) – распределение электромагнитного поля по координатам  $x, y, z$ ; 2 – напряженность электрического поля, В/м; 3, 4 – напряженность магнитной составляющей, А/м; 5, 6 – E–энергия (E энергия), Вт/м<sup>3</sup>, 7, 8 – H–энергия (H энергия), Вт/м<sup>3</sup>

Figure 4. Results of the study of the electrodynamic parameters of the "generator-resonator" system (mode 1):

- 1) – distribution of the electromagnetic field along the coordinates  $x, y, z$ ; 2 – electric field strength, V/m; 3, 4 – magnetic component strength, A/m; 5, 6 – E–energy (E energy), W/m<sup>3</sup>, 7, 8 – N–energy (N energy), W/m<sup>3</sup>

Напряженность электрического поля между кольцеобразными деками с абразивной поверхностью составляет 4...5 кВ/см (рис. 4). При кратковременном воздействии ЭМП такой напряженности электрического поля происходит полное уничтожение бактериальной микрофлоры сырья [10]. Динамика нагрева измельчённого рубца КРС показывает (рис. 5), что при мощности генератора 3 Вт/г сырье за 7 мин. полностью вытопится.

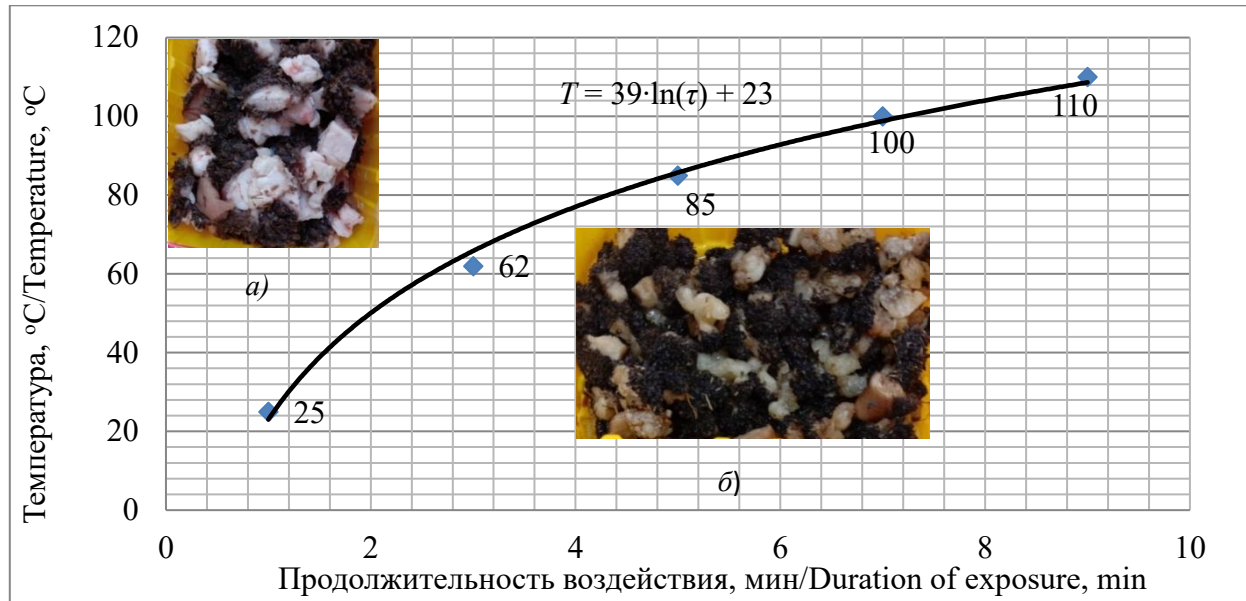


Рисунок 5. Динамика нагрева измельченного рубца крупного рогатого скота при мощности генератора 3 Вт/г: а) измельченные куски рубца; б) после термообработки до 88...90 °С в стационарном режиме

Figure 5. Dynamics of heating of crushed rumen of cattle, at a generator power of 3 W / g: a) crushed pieces of rumen; b) after heat treatment up to 88...90 °C in stationary mode

**Выводы.** При окружной скорости ротора, равной 6,7 м/с (150 об/мин), производительность СВЧ-установки с мощностью генераторов 3,3 кВт составляет 30...35 кг/ч при загрузке в резонатор 2,5...3 кг предварительно измельченного сырья с фракциями размером 2–3 см.

Реализация СВЧ-установки с нестандартным коническим резонатором и фторопластовым ротором с абразивными деками, обеспечивающими тонкое измельчение сырья при термообработке и стерилизации отходов убоя животных, позволит снизить энергетические затраты.

Скорость перемещения сырья в резонаторе, а следовательно, и продолжительность термообработки можно регулировать изменением зазора между деками. Удельная мощность генератора изменяется регулированием мощности генератора и объема одновременной загрузки сырья в резонатор.

#### Список источников литературы

1. Жданкин, Г.В. Радиоволновые установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения / Г. В. Жданкин, М. В. Белова, О. В. Михайлова, Г. В. Новикова // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург: Оренбургский ГАУ, 2018. – № 4(72). – С. 198–202.
2. Mikhailova, O.V., Gdankin, G.V., Prosviryakova, M.V., Novikova, G.V., Storchevoy, V. F. Microwave heating of slaughterhouse confiscations to increase the feed value. Микроволновый нагрев конфискаций скотобойни для увеличения ценности корма / International Conference «Sustainable Development in Rural Areas» (SDRA-2021). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 857 (2021) 012002. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/857/1/012002. Web of Science.
3. Воронов, Е.В. Исследование и обоснование параметров СВЧ установки, реализующей ресурсосберегающую технологию термообработки мясных отходов / Е. В. Воронов // Вестник НГИЭИ. 2023. – № 8 (147). – С. 33–43.

4. Рябченко, В. Ю. Компьютерное моделирование объектов с помощью ПП CST Microwave Studio / В. Ю. Рябченко, В. В. Паслён // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2018. № 1. – С. 139.
5. Хасанов, А. С. Анализ электромагнитных полей с использованием среды CST Microwave Studio / А. С. Хасанов // XXII. Туполевские чтения. Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), 2015. – С. 808-810.
6. Курушин, А. А. Школа проектирования СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE / А. А. Курушин. – М., One-Book, 2014. – 433 с.
7. Титов, Е. В. Компьютерное моделирование наложенных электромагнитных волн от источников электромагнитного поля в широком диапазоне частот / Е. В. Титов, А. А. Сошников, В. Ю. Васильев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3(209). – С. 102–108. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108. – EDN WJXMFH.
8. Titov, E. V. Computer Imaging of Electromagnetic Environment in Air Space with Industrial Electromagnetic Field Sources in Conditions of Combined Influence of EM Radiation / E. V. Titov, A. A. Soshnikov, I. E. Migalev. – 2022. – Vol. 22, No. 1. – Pp. 34-40. – DOI 10.26866/jees.2022.1.r.58.
9. Ершова, И. Г. Сверхвысокочастотная установка для выделения жира при переработке мясосодержащего сырья и определение ее добротности / И. Г. Ершова, Д. В. Поручиков // Вестник ВИЭСХ. – 2018. – № 4 (33). – С. 40–45.
10. Ахмедов, М. Э. Использование СВЧ-энергии для интенсификации тепловой стерилизации компотов / М. Э. Ахмедов, А. Ф. Демирова, М. М. Ахмедова, Р. А. Ахмедов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 5. – С. 27–29.

#### References

1. Zhdankin, G. V. Radio wave installations for heat treatment of non-food waste of animal origin / G. V. Zhdankin, M. V. Belova, O. V. Mikhailova, G. V. Novikova // Izvestiya Orenburg GAU. Orenburg: Orenburg State University, 2018, No. 4(72). pp. 198–202.
2. Mikhailova, O. V., Gdankin, G. V., Prosviryakova, M. V., Novikova, G. V., Storchevoy, V. F. Microwave heating of slaughterhouse confiscations to increase the feed value. Microwave heating of slaughterhouse seizures to increase the value of feed / International Conference "Sustainable Developmentment in Rural Areas" (SDRA-2021). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 857 (2021) 012002. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/857/1/012002. Web of Science.
3. Voronov, E. V. Investigation and substantiation of parameters of a microwave installation implementing a resource-saving technology for heat treatment of meat waste / E. V. Voronov // Bulletin of the NGIEI, № 8 (147), 2023. pp. 33–43.
4. Ryabchenko, V. Yu. Computer modeling of objects using PP CST Microwave Studio / V. Yu. Ryabchenko, V. V. Nightshade // Modern problems of radio electronics and telecommunications. 2018. No. 1. p. 139.
5. Khasanov, A. S. Analysis of electromagnetic fields using CST Microwave medium Studio / A. S. Khasanov // XXII. Tupolev readings. Russian Foundation for Fundamental Research, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI (KNITU-KAI). 2015. pp. 808–810.
6. Kurushin, A. A. School of Design of microwave devices in CST STUDIO SUITE / A. A. Kurushin. – М., One-Book, 2014, – 433 p.
7. Titov, E. V. Computer modeling of superimposed electromagnetic waves from electromagnetic field sources in a wide frequency range / E. V. Titov, A. A. Soshnikov, V. Y. Vasiliev // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022. No. 3(209). pp. 102–108. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108.



8. Titov, E.V. Computer Imaging of Electromagnetic Environment in Air Space with Industrial Electromagnetic Field Sources in Conditions of Combined Influence of EM Radiation / E. V. Titov, A. A. Soshnikov, I. E. Migalev. – 2022. – Vol. 22, No. 1. pp. 34–40. – DOI 10.26866/jees.2022.1.r.58.
9. Ershova, I. G. Ultrahigh-frequency installation for fat extraction during processing of meat-containing raw materials and determination of its quality factor / I. G. Ershova, D. V. Poruchikov // Vestnik RESH. – 2018. – № 4 (33). pp. 40–45.
10. Akhmedov, M. E. The use of microwave energy for the intensification of thermal sterilization of composites / M. E. Akhmedov, A. F. Demirova, M. M. Akhmedova, R. A. Akhmedov // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2013. – No. 5. pp. 27–29.

#### Авторский вклад

**Воронов Евгений Викторович** – исследование динамики нагрева рубца, книжки, сетки, сычуга, исследование электродинамических параметров системы «генератор-резонатор»;

**Новикова Галина Владимировна** – работа над конструкцией установки с нестандартным коническим резонатором, обоснование эффективных режимов обработки сырья;

**Просвирякова Марьяна Валентиновна** – описание принципа действия СВЧ установки непрерывно-поточного действия для термообработки и обеззараживания отходов убоя животных.

#### Author's contribution

**Evgeny V. Voronov** – study of the dynamics of heating of the scar, books, grids, abomasum, study of electrodynamic parameters of the "generator-resonator" system;

**Galina V. Novikova** – work on the design of an installation with a non-standard conical resonator, justification of effective modes of processing raw materials;

**Mariana V. Prosviryakova** – description of the principle of operation of a continuous-flow microwave installation for heat treatment and disinfection of animal slaughter waste.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

#### Сведения об авторах

**Воронов Евгений Викторович**, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Технический сервис», директор Инженерного института, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», <https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>, SPIN-code: 8963-4080; [e\\_voronov@list.ru](mailto:e_voronov@list.ru).

**Новикова Галина Владимировна**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник по подготовке научно-педагогических кадров, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», <https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>, SPIN-code: 3317-5336; [NovikovaGalinaV@yandex.ru](mailto:NovikovaGalinaV@yandex.ru).

**Просвирякова Марьяна Валентиновна**, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов им. академика И. Ф. Бородина, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», <https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>, SPIN-code: 5642-4560; [prosviryakova.maryana@yandex.ru](mailto:prosviryakova.maryana@yandex.ru).

**Information about the authors**

**Evgeny V. Voronov**, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Service, Director of the Engineering Institute, State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics", <https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>, SPIN-code: 8963-4080; [e\\_voronov@list.ru](mailto:e_voronov@list.ru).

**Galina V. Novikova**, Doc. Sci (Eng.), Professor, Chief Researcher for the Training of Scientific and Pedagogical Personnel, State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics", <https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>, SPIN-code: 3317-5336; [NovikovaGalinaV@yandex.ru](mailto:NovikovaGalinaV@yandex.ru).

**Mariana V. Prosviryakova**, Doc. Sci (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automation and Robotization of Technological Processes named after Academician I. F. Borodin, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Ministry of Agriculture named after K.A. Timiryazev", <https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>, SPIN-code: 3317-5336; [NovikovaGalinaV@yandex.ru](mailto:NovikovaGalinaV@yandex.ru).

*Статья поступила в редакцию 13.09.2023; одобрена после рецензирования 11.10.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 13.09.2023; approved after reviewing 11.10.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 621.316.13

Код ВАК 4.3.2.

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-137-146

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЫБОРА УСТАВОК РЕГУЛЯТОРОВ  
НАПРЯЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ  
В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

**А.М. Исупова<sup>1</sup>, В.Я. Хорольский<sup>2</sup>, М.А. Мастепаненко<sup>1</sup> ✉, А.П. Елифанов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ставропольский государственный аграрный университет,  
г. Ставрополь, Россия,  
✉ [mma\\_26@inbox.ru](mailto:mma_26@inbox.ru);

<sup>2</sup>Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

**Реферат.** В процессе эксплуатации сельских электрических сетей перед электросетевыми организациями возникает важная задача по обеспечению потребителей АПК электрической энергией соответствующего качества. При учете специфики построения и уровня технического состояния существующих сетей с напряжением 0,38 и 6(10) кВ в сельской местности это представляет определенные сложности. Одним из основных показателей качества электрической энергии является отклонение напряжения в точке ее передачи потребителям. Для выполнения требований стандарта в отношении указанного показателя

электросетевые организации проводят регулирование напряжения. В сельских электрических сетях наиболее распространенным способом местного регулирования напряжения продолжает оставаться регулирование путем переключения регуляторов ПБВ на потребительских подстанциях. Поскольку такой способ предусматривает отключение силового трансформатора от сети на время выполнения переключений регулятора, его применяют редко. Уставка регулятора выставляется в необходимое положение на длительный срок, поэтому важно обоснованно подходить к ее выбору, учитывая ряд факторов, оказывающих влияние на отклонение напряжения у потребителей. Известный на сегодняшний день способ выбора уставки регулятора ПБВ посредством составления таблицы отклонений и потерь напряжения в условиях эксплуатации является достаточно трудоемким. В статье предложен более эффективный подход к определению уставок регулятора. С этой целью разработана номограмма, позволяющая достаточно быстро определять требуемую уставку с учетом режима регулирования напряжения в центре питания и потерь напряжения в линиях электропередачи и силовом трансформаторе. Описана методика выбора уставки регулятора ПБВ с использованием предлагаемой номограммы, и на конкретном примере продемонстрирована возможность ее применения.

**Ключевые слова:** эксплуатация, регулирование напряжения, качество электрической энергии

**Цитирование.** Исупова А.М., Хорольский В.Я., Мастепаненко М.А., Елифанов А.П. Методические положения выбора уставок регуляторов напряжения потребительских трансформаторных подстанций в сельских электрических сетях // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 137–146, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-137-146.

## METHODOLOGICAL PROVISIONS FOR SELECTING SETTINGS OF VOLTAGE REGULATORS FOR CONSUMER TRANSFORMER SUBSTATIONS IN RURAL ELECTRIC NETWORKS

A.M. Isupova<sup>1</sup>, V.Ya. Khorolskiy<sup>2</sup>, M.A. Mastepanenko<sup>1</sup>, A.P. Epifanov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia; mma\_26@inbox.ru

<sup>2</sup>North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

<sup>3</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Saint Petersburg, Russia

**Abstract.** In the process of operating rural power networks, power grid organisations face an important task of providing AIC consumers with power of appropriate quality. Taking into account the specifics of construction and the level of technical condition of existing 0.38 and 6(10) kV networks in rural areas, this presents certain difficulties. One of the main indicators of electric power quality is the voltage deviation at the point of its transmission to consumers. In order to meet the requirements of the standard with regard to this indicator, power grid organisations carry out voltage regulation. In rural electric networks, the most common method of local voltage regulation continues to be regulation by switching with off-circuit tap changing regulators at consumer substations. Since this method involves disconnecting the power transformer from the grid for the duration of regulator switching, it is rarely used. The regulator setpoint is set to the required position for a long period of time, so it is important to select it reasonably, taking into account a number of factors that influence the voltage deviation at consumers. The currently known method of selecting the regulator set point by drawing up a table of voltage deviations and losses under operating conditions is rather labour-

intensive. The article proposes a more efficient approach to determining the regulator setpoints. For this purpose, a nomogram is developed that allows to determine the required setpoint quickly enough, taking into account the voltage regulation mode in the supply centre and voltage losses in the transmission lines and power transformer. The methodology for selecting the setpoint of the off-circuit tap changing regulator using the proposed nomogram is described, and the possibility of its application is demonstrated on a concrete example.

**Keywords:** *operation, voltage regulation, quality of electrical energy*

**Citation.** Isupova, A.M., Khorolskiy V.Ya, Mastepanenko, M.A. Epifanov A.P. (2023), "Methodological provisions for selecting settings of voltage regulators of consumer transformer substations in rural electric networks", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73 (4), pp. 137–146, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-137-146.

**Введение.** Обеспечение потребителей АПК электрической энергией соответствующего качества является важной задачей, которая стоит перед электросетевыми предприятиями, осуществляющими эксплуатацию сельских электрических сетей. Одним из основных показателей качества электрической энергии, оказывающим существенное влияние на эффективность и экономичность функционирования оборудования предприятий АПК, считается отклонение напряжения [1, 2, 3], допустимое значение которого в соответствии с ГОСТ 32144-2013 должно быть в интервале от +10% до -10% в точке передачи электрической энергии потребителям. Для выполнения требований стандарта в отношении указанного показателя в процессе эксплуатации выполняют регулирование напряжения. При этом различают централизованное регулирование, осуществляемое на питающих подстанциях, как правило, в автоматическом режиме, и местное регулирование.

При централизованном регулировании происходит изменение напряжения во всей электрической сети. Местное регулирование приводит к изменению уровня напряжения на ограниченном участке сети: оно может быть реализовано, например, посредством использования конденсаторных установок [4, 5], вольтодобавочных трансформаторов и линейных регуляторов [6, 7, 8], а также изменением положения регулятора ПБВ на потребительских подстанциях (ТП). Последний способ наиболее распространен в сельских электрических сетях ввиду того, что отмеченные регуляторы являются неотъемлемой частью конструкции массово применяемых в сельском электроснабжении силовых трансформаторов серии ТМ, установленных на подавляющем большинстве ТП 6(10)/0,4 кВ.

Для изменения положения регулятора ПБВ в процессе эксплуатации необходимо отключать силовой трансформатор от сети [9], что приводит к недоотпуску электроэнергии потребителям, поэтому в сельских электрических сетях переключения подобного рода, как правило, выполняют не чаще двух раз в год – перед наступлением зимнего максимума и летнего минимума нагрузки.

С учетом специфики построения сельских электрических сетей, когда от одной линии 6(10) кВ может питаться порядка десятка ТП 6(10)/0,4 кВ, выбор такого положения регулятора ПБВ, при котором обеспечивалось бы выполнение требований стандарта в отношении отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии потребителям, для персонала электросетевых предприятий является достаточно сложной задачей. В первую очередь это связано с необходимостью учета таких факторов, как закон регулирования напряжения в центре питания, существующий уровень потерь напряжения в сетях 6(10) и 0,38 кВ и в самом

трансформаторе. Одним из хорошо известных подходов к выбору уставки регулятора ПБВ является метод составления таблицы отклонений и потерь напряжения, но в реальных условиях эксплуатации при необходимости выполнения расчетов одновременно для всех ТП 6(10)/0,4 кВ, подключенных к одной линии 6(10) кВ, он весьма трудоемок. Поэтому при проведении настоящих исследований была поставлена задача адаптировать известные методики к решению эксплуатационных задач, имеющих место в практике обслуживания сельских электрических сетей, и разработать новый методический подход, ориентированный на более широкое использование в практике эксплуатации сетей.

**Цель исследования** – разработка методических рекомендаций для выбора уставок регуляторов ПБВ потребительских трансформаторных подстанций при проведении сезонных переключений, позволяющих электросетевым предприятиям выполнять задачи по поддержанию отклонения напряжения в точках передачи электрической энергии потребителям в пределах, установленных стандартом.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Как было отмечено выше, выбор уставки регулятора ПБВ зависит от существующих в сетях 0,38 и 6(10) кВ потерь напряжения и принятого режима регулирования на питающей подстанции. Наилучшим для заданных условий эксплуатации будем считать такое положение регулятора ПБВ, при котором отклонения напряжения в точках передачи электрической энергии потребителям либо находятся в пределах нормируемых значений, либо максимально к ним приближены. Поскольку уставки регулятора ПБВ могут принимать дискретные значения в интервале от -5% до +5% с шагом 2,5%, то при комплексном рассмотрении всех ТП 6(10)/0,4 кВ, подключенных к одной линии 6(10) кВ, их можно разделить на 5 групп, характеризующихся идентичными значениями уставок. Принадлежность ТП 6(10)/0,4 кВ к той или иной группе будет зависеть только от величины потерь напряжения в сети 0,38 кВ, получающей питание от этой ТП, а также от потерь напряжения в линии 6(10) кВ и в силовом трансформаторе, установленном на ТП 6(10)/0,4 кВ.

Проведя анализ классической диаграммы отклонений и потерь напряжения для сетей (6)10 и 0,38 кВ, мы получили следующие функциональные зависимости, позволяющие подбирать наилучшее для заданных условий эксплуатации значение уставки регулятора ПБВ:

$$\begin{cases} \delta U_a^I = \Delta U_{0,38}^I + \delta U_{П1} - A, \\ \delta U_a^I = \delta U_{10кВ}^I - \Delta U_{10}^I, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \delta U_a^{II} = \Delta U_{0,38}^{II} + \delta U_{П2} - A, \\ \delta U_a^{II} = \delta U_{10кВ}^{II} - \Delta U_{10}^{II}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\delta U_a^I$ ,  $\delta U_a^{II}$  – отклонения напряжения в некоторой точке сети, при которых для известного значения отклонения напряжения на шинах питающей подстанции, при выбранной величине уставки регулятора ПБВ, существующем уровне потерь напряжений в силовом трансформаторе 6(10)/0,4 кВ и сетях 0,38 и 6(10) кВ отклонение напряжения соответственно у ближайшего и удаленного от шин 0,4 кВ потребителей равны предельным нормируемым значениям, %;

$\Delta U_{0,38}^I$ ,  $\Delta U_{0,38}^{II}$  – соответственно, потери напряжения в сети 0,38 кВ до ближайшего и удаленного от шин 0,4 кВ потребителя, %;

$\delta U_{П1}, \delta U_{П2}$  – соответственно, предельные нормируемые значения отклонения напряжения у ближайшего и удаленного от шин 0,4 кВ потребителя, %;

$\delta U_{10кВ}^I, \delta U_{10кВ}^{II}$  – соответственно, верхний и нижний пределы отклонения напряжения в центре питания, учитывающие зону нечувствительности регулятора РПН, %;

$\Delta U_{10}^I, \Delta U_{10}^{II}$  – соответственно, суммарные потери напряжения в сети 10 кВ и силовом трансформаторе 6(10)/0,4 кВ, обеспечивающие при выбранной величине уставки регулятора ПБВ и известном значении отклонения напряжения на шинах питающей подстанции допустимые отклонения напряжения у потребителей в сети 0,38 кВ, %;

$A$  – полная надбавка напряжения на ТП 6(10)/0,4 кВ, определяемая по выражению

$$A = (N - 1) \cdot k_{\%},$$

где  $N$  – порядковый номер добавки при отсчете от высшего ответвления, устанавливаемый регулятором ПБВ;

$k_{\%}$  – значение ступени добавки для современных силовых трансформаторов (6)10/0,4 кВ равно 2,5%.

Поскольку выбираемая уставка должна устанавливаться на длительный срок, то необходимо одновременно рассматривать и режим максимальных, и режим минимальных нагрузок. Система уравнений (1) позволяет проводить расчет для выбора уставки регулятора ПБВ в режиме минимальных нагрузок, а система уравнений (2) – в режиме максимальных нагрузок.

**Результаты исследования.** Выбор наилучшего значения уставки регулятора ПБВ при заданных условиях эксплуатации предлагается проводить с использованием приведенной на рисунке номограммы. Данная номограмма построена на основе полученных функциональных зависимостей для режима минимальных нагрузок (1) и режима максимальных нагрузок (2).

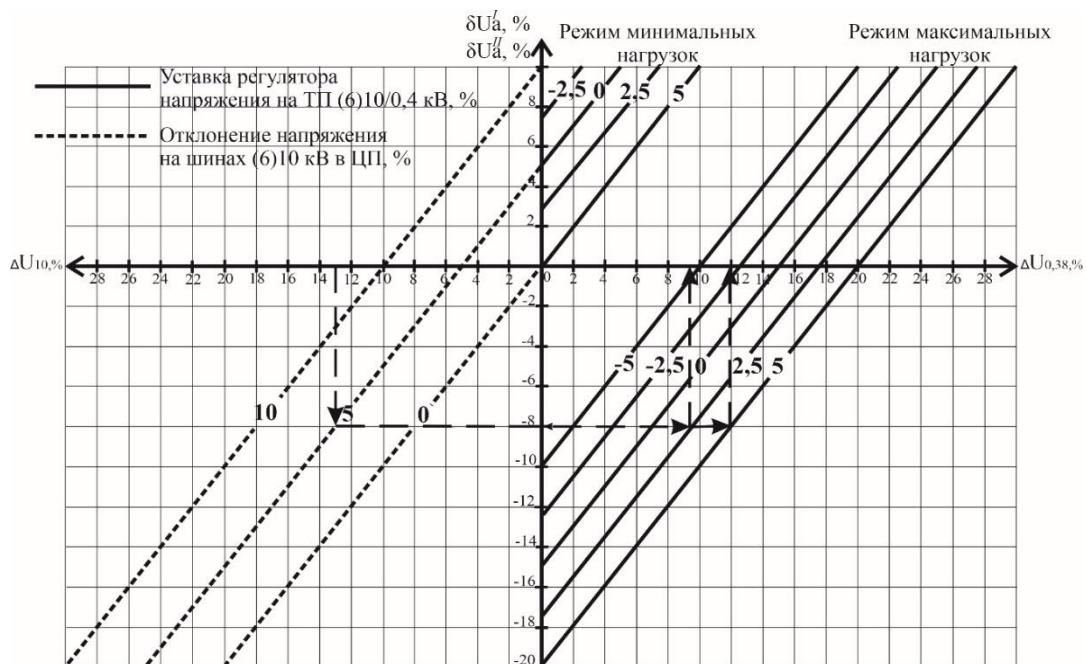


Рисунок. Номограммы для выбора уставки регулятора ПБВ  
 Picture. Nomograms for selecting the setpoint of the off-circuit tap changing regulator

Методика определения положения уставки регуляторов напряжения на ТП 6(10)/0,4 кВ в сельских электрических сетях с использованием предлагаемой номограммы заключается в следующем:

1. Рассчитываем в процентах действительные потери напряжения в силовых трансформаторах (6)10/0,4 кВ, в сетях напряжением 0,38 и (6)10 кВ по известным аналитическим зависимостям [10] либо по результатам замеров напряжения в контрольных точках сети.

2. Определяем режим регулирования напряжения в центре питания и значения отклонения напряжения в режиме максимальных и минимальных нагрузок на шинах низкого напряжения питающей подстанции.

3. По оси абсцисс в направлении, обозначенном  $\Delta U_{10\%}$ , откладываем суммарные потери напряжения в сети (6)10 кВ и силовом трансформаторе (6)10/0,4 кВ для рассматриваемой ТП 6(10)/0,4 кВ в режиме максимальных нагрузок. Через полученное значение проводим вертикальную прямую до пересечения со штриховой прямой, соответствующей принятому отклонению напряжения в режиме максимальных нагрузок в центре питания. Из точки пересечения проводим горизонтальную прямую до пересечения с прямыми, соответствующими значению уставок регулятора, построенными для режима максимальных нагрузок. Из полученных точек пересечения проводим вертикальные прямые до пересечения с осью абсцисс. Предварительно принимаем к рассмотрению такие уставки регулятора, для которых значения на оси абсцисс в месте пересечения соответствующих вертикальных прямых не превосходят максимальных потерь напряжения в сети 0,38 кВ, найденных в п. 1.

4. Далее выполняем проверку предварительно выбранного значения уставки регулятора для режима минимальных нагрузок. С этой целью выбираем прямую, соответствующую предварительно выбранному значению уставки, но построенную для режима минимальных нагрузок, и определяем точку пересечения этой прямой с осью ординат. Выбираем штриховую прямую, соответствующая принятому отклонению напряжения в режиме минимальных нагрузок в центре питания, и определяем ее точку пересечения с осью ординат. Если ордината точки пересечения штриховой прямой с осью ординат не превышает ординату точки пересечения сплошной прямой с осью ординат, то выбранная уставка регулятора может быть принята к установке. Если условие не выполняется, то по оси абсцисс в направлении, обозначенном  $\Delta U_{0,38\%}$ , откладываем минимальные потери напряжения в сети 0,38 кВ. Через полученное значение проводим вертикальную прямую до пересечения с прямой, соответствующей предварительно принятому значению уставки регулятора в режиме минимальных нагрузок. Из точки пересечения проводим горизонтальную прямую до пересечения с осью ординат; если полученная точка пересечения окажется выше, чем точка пересечения штриховой прямой с осью ординат, то предварительно принятое значение уставки может быть принято к установке. Если условие не выполняется, то определяем точку пересечения этой прямой и штриховой прямой. Определяем абсциссу полученной точки пересечения и сравниваем с суммарными потерями напряжения в сети (6)10 кВ и силовом трансформаторе (6)10/0,4 кВ в режиме минимальных нагрузок. Предварительно выбранную уставку можно реализовать на трансформаторе, если найденные из номограммы значения потерь напряжения меньше расчетных. В противном случае следует проверить уставку регулятора на ступень меньше.

Поясним предлагаемую методику на конкретном примере, исходные данные для которого приведены в таблице.

Таблица. Исходные данные к примеру  
 Table. Source data for example

Элемент сети	Потери и отклонения напряжения, %	
	Режим максимальных нагрузок	Режим минимальных нагрузок
ВЛ 0,38 кВ	8	2
ВЛ 10 кВ и силовой трансформатор 10/0,4 кВ	13	3
Шины 10 кВ питающей подстанции	5	0

В направлении, указанном стрелками на номограмме рисунка, определяем, что в режиме максимальных нагрузок при существующем уровне потерь напряжения в сети 10 кВ, силовом трансформаторе и заданном режиме регулирования в центре питания предварительно могут быть приняты уставки регулятора +2,5 и +5%, поскольку соответствующие им потери напряжения в сети 0,38 кВ будут больше, чем 8%.

Проверяем предварительно принятые уставки в режиме минимальных нагрузок. В режиме минимальных нагрузок отклонение напряжения в центре питания составляет 0%. Точки пересечения прямых с осью ординат для всех уставок оказываются выше точки пересечения штриховой прямой, соответствующей нулевому значению. Следовательно, обе уставки подходят. В режиме максимальных нагрузок предпочтение отдаем уставке +5%.

Найдем отклонение напряжения в точках передачи электрической энергии потребителям в режиме максимальных и минимальных нагрузок при выбранной уставке регулятора.

В соответствии с выражениями (1) для режима минимальных нагрузок запишем:

$$\delta U_{П1} = \delta U_{10кВ}^I - \Delta U_{10}^I + A - \Delta U_{0,38}^I = 0 - 3 + 10 - 2 = 5\%.$$

В соответствии с выражениями (2) для режима максимальных нагрузок запишем:

$$\delta U_{П2} = \delta U_{10кВ}^{II} - \Delta U_{10}^{II} + A - \Delta U_{0,38}^{II} = 5 - 13 + 10 - 8 = -6\%.$$

Отклонения напряжения в точках передачи электрической энергии потребителям в режиме максимальных и минимальных нагрузок при выбранной уставке регулятора входят в допустимые пределы.

**Выводы.** С целью обеспечения требуемых уровней напряжения в точках передачи электрической энергии потребителям разработана методика, позволяющая электросетевым предприятиям при проведении сезонных переключений достаточно просто определять уставки регуляторов напряжения типа ПБВ на потребительских подстанциях. Использование предлагаемой методики проиллюстрировано на конкретном примере.

#### Список источников литературы

1. Судаченко, В.Н., Тимофеев, Е.В., Эрк, А.Ф., Размук, В.А. Оценка качества электроэнергии у сельскохозяйственных потребителей // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 95. – С. 33–41. – DOI 10.24411/0131-5226-2018-10029.



2. Бородин, М.В., Виноградов, А.В., Голиков И.О., Лансберг А.А. Анализ показателей качества электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4 кВ и причин жалоб потребителей в филиале ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» // Научный журнал молодых ученых. – 2022. – № 3(28). – С. 72-80.
3. Сафонов, Д.Г., Люtareвич, А.Г., Долингер, С.Ю., Бирюков С.В. Влияние отклонения напряжения на потери мощности в электрооборудовании электрических сетей и потребителей // Омский научный вестник. – 2013. – № 2(120). – С. 203–206.
4. Карчин, В.В., Сидорова, В.Т., Федотов, А.И. Компенсация реактивной мощности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ для улучшения качества электроэнергии // Проблемы энергетики. – 2015. – № 5-6. – С.101–106.
5. Озов, Д.А. Использование компенсирующих устройств для регулирования напряжения в сельских электрических сетях 10 кВ // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12.5 (27). – С. 226–228.
6. Фетисов, Л.В., Роженцова, Н.В., Булатов, О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. Т. 20. – № 11–12. – С. 99-106. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106.
7. Абдуллазянов, Э.Ю., Ахметшин, А.Р. Выбор оптимального технического решения для обеспечения нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ // Вестник ИргТУ. – 2011. – № 6 (53). – С. 113–118.
8. Костюченко, Л.П., Озов, Д.А. Регулирование напряжения потребителей сельских населенных пунктов // Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы IX международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 76–78.
9. Савина, Н.В., Бодруг, Н.С. Оценка возможности обеспечения качества электроэнергии в части отклонения напряжения потребителями // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. Т. 20. – № 11–12. – С. 3–15. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-3-15.
10. Хорольский, В.Я., Ефанов, А.В., Шемякин, В.Н., Исупова, А.М. Реконструкция и техническое перевооружение распределительных электрических сетей: учебное пособие для вузов. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 296 с.

### References

1. Sudachenko, V.N., Timofeev, E.V., Jerk, A.F., Razmuk, V.A. Ocenka kachestva elektroenergii u sel'skohozyaystvennykh potrebiteley (Assessment of the quality of electricity for agricultural consumers). Tehnologii i tehicheskie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018; 95: 33–41. (In Russ.)
2. Borodin, M.V., Vinogradov, A.V., Golikov, I.O., Lansberg, A.A. Analiz pokazateley kachestva elektroenergii v raspredelitel'nykh elektricheskikh setyakh 0,4 kV i prichin zhalob potrebiteley v filiale PAO "Rosseti Centr"-"Oreljenergo" (Analysis of electricity quality indicators in 0.4 kV distribution electric networks and causes of consumer complaints in the branch of PJSC Rosseti Center-Oreleenergo). Nauchnyj zhurnal molodyh uchenykh. 2022; 3(28): 72–80. (In Russ.)
3. Safonov, D.G., Lyutarevich, A.G., Dolinger, S.Yu., Birukov, S.V. Vliyanie otkloneniya napryazheniya na poteri moshhnosti v elektrooborudovanii elektricheskikh setey i potrebiteley (Influence of voltage deviation on power losses in electrical equipment of electrical networks and consumers). Omskiy nauchniy vestnik. 2013; 2(120): 203–206. (In Russ.)
4. Karchin, V.V., Sidorova, V.T., Fedotov, A.I. Kompensaciya reaktivnoy moshhnosti v sel'skikh raspredelitel'nykh setyakh 0,4 kV dlya uluchsheniya kachestva elektroenergii (Reactive power compensation in 0.4 kV rural distribution networks to improve the quality of electricity). Problemy energetiki. 2015; 5–6: 101–106. (In Russ.)

5. Ozov, D.A. Ispol'zovanie kompensiruyushih ustroystv dlya regulirovaniya napryazheniya v sel'skikh elektricheskikh setyah 10 kV (The use of compensating devices for voltage regulation in rural electric networks of 10 kV). Vestnik sovremennyh issledovaniy. 2018; 12.5 (27): 226-228. (In Russ.)
6. Fetisov, L.V., Rozhencova, N.V., Bulatov, O.A. Povyshenie kachestva elektricheskoy energii v setyah nizkogo napryazheniya (Improving the quality of electrical energy in low voltage networks). Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Problemy energetiki. 2018; 20: 99106. (In Russ.)
7. Abdullazyanov, Ye.Yu., Ahmetshin, A.R. Vybor optimal'nogo tehniceskogo resheniya dlya obespecheniya normativnogo urovnya napryazheniya v raspredelitel'nyh setyah 0,4–10 kV (Choosing the optimal technical solution to ensure the regulatory voltage level in distribution networks of 0.4-10 kV). Vestnik IrGTU. 2011; 6 (53): 113–118. (In Russ.)
8. Kostyuchenko, L.P., Ozov, D.A. Regulirovanie napryazheniya potrebiteley sel'skikh naseleennykh punktov (Regulation of voltage of consumers of rural settlements). Aktual'nye problemy energetiki APK. Materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. 2018. pp. 76–78.
9. Savina, N.V., Bodrug, N.S. Ocenka vozmozhnosti obespecheniya kachestva elektroenergii v chasti otkloneniya napryazheniya potrebitelyami (Assessment of the possibility of ensuring the quality of electricity in terms of voltage deviation by consumers). Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Problemy energetiki. 2018; 20(11-12): 3–15. (In Russ.)
10. Horol'skiy, V.Ya., Efanov, A.V., Shemyakin, V.N., Isupova, A.M. Rekonstrukciya i tehniceskoe perevoorzhenie raspredelitel'nyh elektricheskikh setey (Reconstruction and technical re-equipment of electrical distribution networks): uchebnoe posobie dlya vuzov, Sankt-Peterburg: Lan', 2021. 296 p.

#### Сведения об авторах

**Исупова Александра Михайловна**, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры электроснабжения и эксплуатации электрооборудования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», SPIN-код: 6147-4333; e-mail: alsitel@rambler.ru.

**Хорольский Владимир Яковлевич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения инженерного института Северо-Кавказского федерального университета, ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет; SPIN-код: 8207-9609; e-mail: horolskiy@mail.ru.

**Мастепаненко Максим Алексеевич**, кандидат технических наук, декан электроэнергетического факультета, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, SPIN-код: 1676-2740, e-mail: mma\_26@inbox.ru.

**Епифанов Алексей Павлович**, доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетики и электрооборудования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», SPIN-код: 6774-3270; e-mail: emeo.kaf@yandex.ru.

#### Information about the authors

**Aleksandra M. Isupova**, Cand. Sci. (Eng.), Researcher of the Department of Power Supply and Operation of Electrical Equipment, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Stavropol State Agrarian University", SPIN-code: 6147-4333; e-mail: alsitel@rambler.ru.

**Vladimir Ya. Khorolskiy**, Doc. Sci. (Eng.), Leading Researcher of the Department of Automated Electric Power Systems and Power Supply of the Engineering Institute of the North Caucasus Federal University, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education North Caucasus Federal University; SPIN-code: 8207-9609; e-mail: horolskiy@mail.ru.

**Maksim A. Mastepanenko**, Cand. Sci. (Eng.), Dean of the Faculty of Electric Power, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Stavropol State Agrarian University, SPIN-code: 1676-2740, e-mail: mma\_26@inbox.ru.

**Aleksey P. Epifanov**, Doc. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Electrical Power Engineering and Electrical Equipment, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 6774-3270; e-mail: emeo.kaf@yandex.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 05.10.2023; одобрена после рецензирования 17.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 05.10.2023; approved after reviewing 17.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

Научная статья

УДК 621.31

Код ВАК 4.3.2

doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-146-156

## УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РОССИИ

**И.В. Юдаев<sup>1</sup> ✉, С.М. Воронин<sup>2</sup>, Н.Г. Очиров<sup>2</sup>, В.В. Цыганов<sup>3</sup>, В.А. Эвиев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина,  
г. Краснодар, Россия;

<sup>2</sup>Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова,  
г. Элиста, Россия;

<sup>3</sup>ООО «Агроконсалтинг», г. Ростов-на-Дону, Россия;  
✉ etsh1965@mail.ru

**Реферат.** Сегодня наблюдается непрерывный рост цен на углеводородное топливо (бензин, дизель), что повышает актуальность поиска путей его замены для конкретных потребителей, в частности, для сельскохозяйственных производств и населения, проживающего на сельских территориях. В аграрном секторе экономики всё ещё велика составляющая стоимости энергоносителей в себестоимости выращиваемой продукции. Общеизвестно, что альтернативой традиционной энергетике являются возобновляемые источники энергии. Можно предположить, что в силу низкой плотности имеющейся возобновляемой энергии наиболее эффективно следует рассматривать ее применение для энергоснабжения маломощных потребителей, которые располагаются на производственных и бытовых объектах сельских территорий. В статье дан краткий анализ причин недостаточного освоения возобновляемых источников (солнечного излучения и энергии ветра) в России. Выявлены основные характерные особенности использования возобновляемых источников энергии

(нерегулярность, низкая плотность и высокая стоимость). Проведен сравнительный анализ традиционного и альтернативного электроснабжения, установлены условия эффективного применения ветровых и фотоэлектрических станций, определены сельскохозяйственные объекты, потенциально пригодные к внедрению объектов генерации на основе возобновляемой энергии. В метеорологических справочниках данных, данных российских спутников и НАСА приводятся усредненные параметры потока солнечной радиации. Но ввиду их высокой зависимости от процессов, происходящих в атмосфере, данные наземного мониторинга характеристик солнечной радиации чаще всего отличаются от получаемых усредненных данных. Для проектирования фотоэлектрических станций эти отклонения существенны, так как занижение интенсивности солнечного излучения приводит к уменьшению КПД фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), а «зеркальное» повышение интенсивности солнечного излучения не приводит к «зеркальному» повышению КПД ФЭП из-за перегрева солнечных батарей.

*Ключевые слова:* солнечное излучение, ветер, нерегулярность поступления энергии, сельскохозяйственные объекты эффективного применения альтернативной энергии

**Цитирование.** Юдаев И.В., Воронин С.М., Очиров Н.Г., Цыганов В.В., Эвиев В.А. Условия эффективного применения возобновляемых источников энергии в России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (73). – С. 146–156, doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-146-156.

## CONDITIONS FOR EFFECTIVE APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN RUSSIA

Igor V. Yudaev<sup>1</sup>✉, Sergei M. Voronin<sup>2</sup>, Nimya G. Ochirov<sup>3</sup>, Vasily V. Tsyganov<sup>3</sup>,  
Valery A. Eviev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia;

<sup>2</sup>Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikova, Elista, Russia;

<sup>3</sup>LLC Agroconsulting, Rostov-on-Don, Russia; ✉ etsh1965@mail.ru

**Abstract.** Today, there is a continuous increase in prices for hydrocarbon fuels (gasoline, diesel), which increases the relevance of finding ways to replace it for specific consumers, in particular, for agricultural production and the population living in rural areas. In the agricultural sector of the economy, the component of the cost of energy carriers in the cost of grown products is still large. It is generally recognized that renewable energy sources are an alternative to traditional energy. It can be assumed that, due to the low density of the available renewable energy, its use should be most effectively considered for supplying energy to low-power consumers located at industrial and domestic facilities in rural areas. The paper provides a brief analysis of the reasons for the insufficient development of renewable sources (solar radiation and wind energy) in Russia. The main characteristic features of the use of renewable energy sources (irregularity, low density and high cost) are identified. A comparative analysis of traditional and alternative power supply has been carried out, conditions for the effective use of wind and photovoltaic stations have been established, agricultural facilities have been identified that are potentially suitable for the introduction of renewable energy generation facilities. In meteorological data reference books, data from Russian satellites and NASA, the average parameters of the solar radiation flux are given. But in view of their high dependence on the processes occurring in the atmosphere, the data of ground-based monitoring of solar radiation characteristics most often differ from the obtained averaged data. For the design of

photovoltaic power plants, these deviations are significant, since underestimation of the intensity of solar radiation leads to a decrease in the efficiency of photovoltaic converters (PVCs), and a "mirror" increase in the intensity of solar radiation does not lead to a "mirror" increase in the efficiency of solar cells due to overheating of solar panels.

**Keywords:** *solar radiation, wind, irregularity of energy supply, agricultural facilities for the effective use of alternative energy*

**Citation.** Yudaev I.V., Voronin S.M., Ochirov N.G., Tsyganov V.V., Eviev V.A. Abdelmanova, A.S., Deniskova, T.E., Volkova, V.V. (2023), "Conditions for effective application of renewable energy sources in Russia", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 73, no 4, pp. 146–156 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2023-4-146-156.

**Введение.** Россия, в отличие от Японии, Южной Кореи и многих других индустриально развитых стран, обладает достаточными запасами ископаемых ресурсов – нефтью, газом, углем; располагает широкой сетью водных коммуникаций с эффективно функционирующей большой гидроэнергетикой. В стране имеются месторождения по добыче урана и фабрики по его обогащению, что позволяет стабильно подпитывать отечественную атомную энергетику, добиваясь высоких показателей при выработке электрической энергии. Кроме перечисленных общепризнанных на сегодняшний день источников для традиционного производства энергии в России имеются доступные гидротермальные источники (например, на Камчатке), ресурсы энергии приливов (например, на Кольском полуострове и побережье Баренцева моря). Все это позволяет обеспечивать энергетическую безопасность нашей страны и не испытывать особой потребности в глобальной замене традиционной энергетики в Российской Федерации на источники, производящие ее с помощью альтернативных технологий [1].

Вместе с тем для фермеров, землепользователей, удаленных от централизованных систем энергоснабжения, и многих частных владельцев сельхозугодий непрерывное повышение цен на нефтепродукты, в отличие от государственных интересов, является насущной серьезной проблемой [2, 3, 4]. То есть, изыскание способов снижения затрат хозяйствующих субъектов на нефтепродукты и другие энергоносители, поставляемые им государством, является актуальной повесткой в условиях необходимости бесперебойного насыщения отечественного рынка продуктами питания.

Наиболее доступными для использования из возобновляемых источников энергии практически на всей территории России являются солнечное излучение и энергия ветра [4, 5, 6]. Не всегда удачное и сбалансированное применение этих источников объясняется игнорированием их особенностей, которые очень часто вступают в противоречие с потребностями в энергоснабжении. Рассмотрим характерные особенности проявления возобновляемых источников энергии – ветра и солнечного излучения.

Наиболее существенной характеристикой ветряной энергии и солнечного излучения является их нерегулярность. Причем ветер имеет большую нерегулярность, чем солнечное излучение. Тем не менее, и солнечная инсоляция независимо от того, что можно выделить время её 100% отсутствия в ночное время и 100% присутствия в дневное время, носит нерегулярный характер, к тому же дополнительно сказывается наличие облачности или прозрачности атмосферы, носящих стохастический характер.

Нерегулярность присутствия возобновляемых источников предполагает проведение расчета вероятности поступления от них первичной энергии. Вероятностные расчеты не

гарантируют обеспечения высокой надежности энергоснабжения, что требует обязательного резервирования энергии или аккумуляторами, или мобильными топливными электростанциями. Введение резервного источника электроснабжения повышает и без того высокую стоимость солнечных фотоэлектрических модулей и ветроэлектростанций, что стало предметом поиска более конкурентоспособных вариантов и сочетаний генерирующих объектов в последние 20 лет [4, 7, 8, 9].

**Цель исследования** – обоснование применения математических методов теории вероятности для оценки потенциала и характерных периодов (энергетических и аккумуляторных) ресурсов возобновляемой энергии (ветра и солнца) на примере сельских районов в окрестности Ростова-на-Дону.

**Материалы, методы и объекты исследования.** В данных метеорологических справочников, российских спутников и НАСА [10, 11] приводятся усредненные параметры потока солнечной радиации. Но ввиду их высокой зависимости от процессов, происходящих в атмосфере, данные наземного мониторинга характеристик солнечной радиации чаще всего отличаются от получаемых усредненных данных. Для проектирования фотоэлектрических станций эти отклонения существенны, так как занижение интенсивности солнечного излучения приводит к уменьшению КПД фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), а «зеркальное» повышение интенсивности солнечного излучения не приводит к «зеркальному» повышению КПД ФЭП из-за перегрева солнечных батарей. Также следует помнить, что чрезмерный перегрев ФЭП может привести к их поломке.

Нормальное распределение интенсивности солнечного излучения [4, 10, 11] позволяет использовать классическую теорию вероятностей попадания случайной величины (интенсивности солнечного излучения) в заданный интервал. Естественно, верхним пределом такого интервала будет солнечная постоянная, а нижним пределом будет константа – значение суммарной солнечной радиации, ниже которого значение интенсивности не будет снижаться с задаваемой вероятностью [12, 13]:

$$P(N_x \leq N \leq N_{max}) = \Phi \left[ \frac{N_{max} - \bar{N}}{\sigma_c} \right] - \Phi \left[ \frac{N_x - \bar{N}}{\sigma_c} \right], \quad (1)$$

где  $P(N_x \leq N \leq N_{max})$  – вероятность того, что интенсивность солнечного излучения будет находиться в интервале  $N_x \dots N_{max}$ ;

$N_x$  – гарантированная интенсивность солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$N_{max}$  – солнечная постоянная, Вт/м<sup>2</sup>;

$\bar{N}$  – математическое ожидание интенсивности солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$\sigma_c$  – стандартное отклонение интенсивности солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>.

Так как наземная станция метеонаблюдений расположена на территории города Ростова-на-Дону, то за первичную для анализа возьмем информацию, предоставленную ею [14], и будем считать, что на прилегающих сельскохозяйственных землях районов Ростовской области в радиусе около 100 км она идентична.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1 (а, б, в) приведены примеры суточных графиков расчетных значений гарантированной суммарной солнечной радиации. На этих рисунках показаны примеры расчетных графиков гарантированной суммарной интенсивности солнечного излучения на примере города Ростова-на-Дону весной, летом и осенью (заданная вероятность равна 0,95).

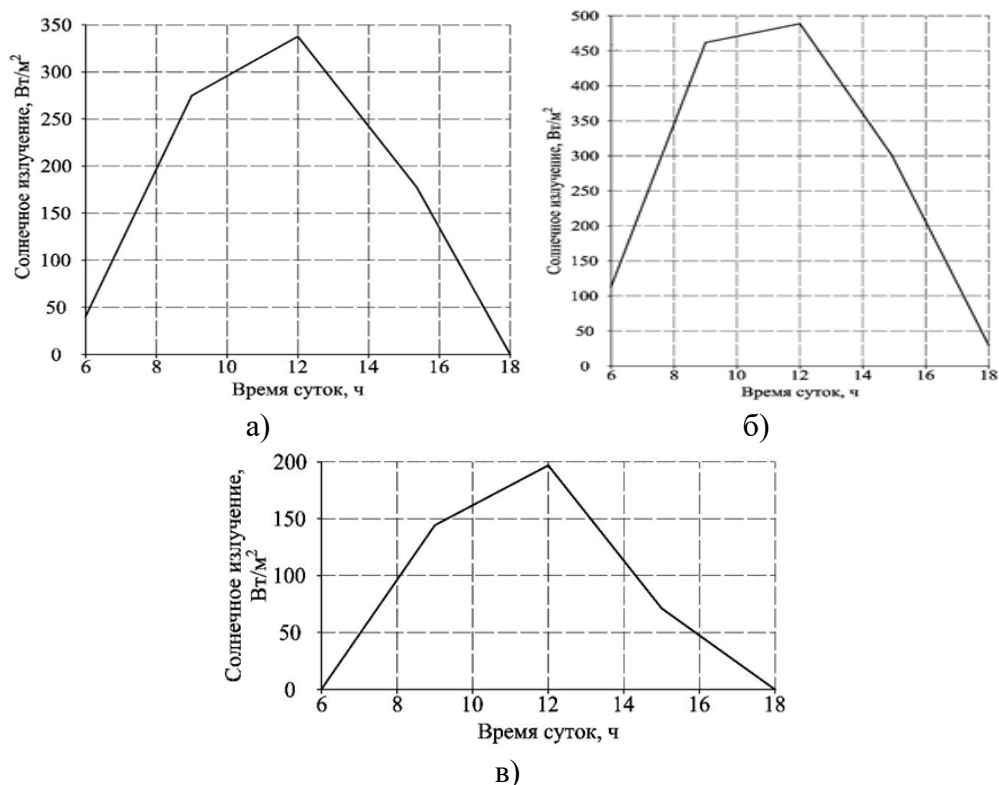


Рисунок 1. Суточный график суммарной солнечной радиации для весеннего (а), летнего (б) и осеннего (в) дня в Ростове-на-Дону

Figure 1. Daily schedule of total solar radiation for spring (a), summer (b) and autumn (c) days in Rostov-on-Don

Выполненные расчеты показывают, на какую интенсивность солнечного излучения можно рассчитывать при проектировании фотоэлектрических станций и установок в рассмотренные периоды года. При анализе мы не стали брать в расчет зимнее время, так как именно в это время сельские производители, которые выращивают растениеводческую продукцию, ее не производят, и зачастую их производственные объекты законсервированы.

В процессе оценки вероятности наличия ветра в рассматриваемом диапазоне значений скорости ключевым является учет вероятности периодов со скоростью ветра больше и равной задаваемой, так называемые энергетические периоды  $\tau_{\text{Э}}$ , и менее задаваемой – так называемые аккумуляторные периоды  $\tau_{\text{А}}$ . В практике обоснования структуры и параметров ветровых электрических станций, функционирующих в «островном», автономном режиме, основными показателями являются время непрерывной генерации электрической энергии за счет преобразования ветровой энергии, то есть время зарядки аккумулирующих устройств, и время питания потребителей от аккумуляторных батарей, когда скорость ветра недостаточна для работы ветрогенерирующей установки.

Так как периоды обеспечения потребителя от генераторов и аккумуляторов имеют случайный характер, для их описания используется величина вероятности их продолжительности. Будут ли эти величины изменять свои значения в задаваемых пределах, определяется законом распределения этих величин [8, 9].

Имеется график изменения скорости ветра для города Ростов-на-Дону, основанный на данных наблюдения наземной метеостанции (рис. 2) [8].

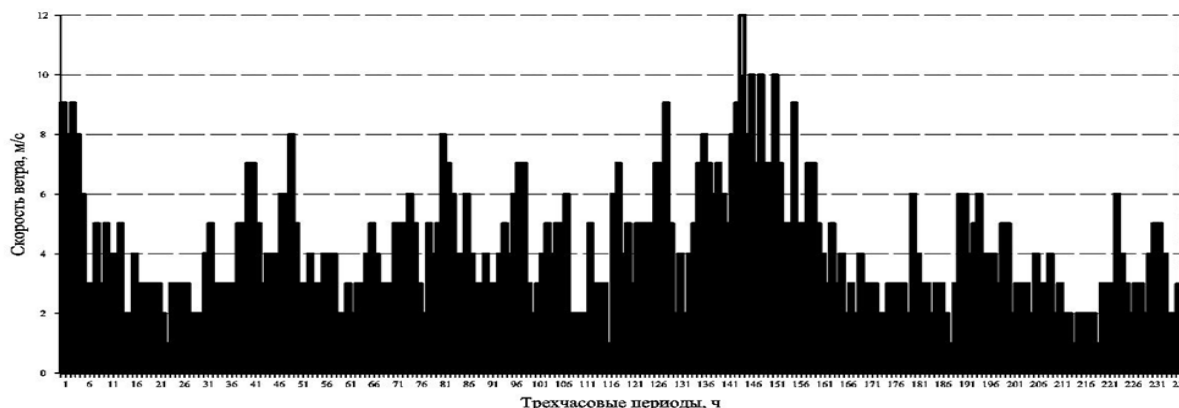


Рисунок 2. Изменение скорости ветра в течение года на примере города Ростова-на-Дону  
 Figure 2. Change in wind speed during the year on the example of the city of Rostov-on-Don

По результатам экспериментальных исследований были построены графики изменения частоты непрерывных энергетических и аккумуляторных периодов в течение года (рис. 3).

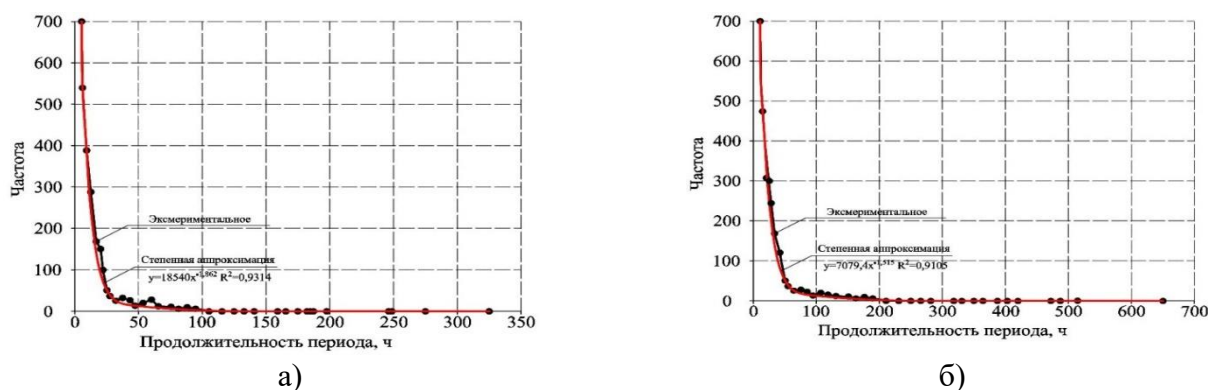


Рисунок 3. Периоды со скоростью ветра более (а) и менее (б) 4 м/с  
 Figure 3. Periods with wind speeds greater than (a) and less than (b) 4 m/s

В результате анализа и обработки графиков изменения частоты непрерывных энергетических и аккумуляторных периодов в течение года было определено, что они аналитически описываются степенным законом распределения [8, 9]. В таблице приведены коэффициенты детерминации для различных значений скорости ветра, а также математические выражения закона распределения энергетических и аккумуляторных периодов.



**Таблица. Аналитические зависимости законов распределения и результаты анализа по критерию Фишера для энергетических и аккумуляторных периодов на примере города Ростова-на-Дону**

**Table. Analytical dependences of the distribution laws and the results of the analysis by the Fisher criterion for energy and accumulator periods on the example of Rostov-on-Don**

Скорость ветра, м/с	Аналитическая зависимость частоты наблюдения скорости ветра от продолжительности их периодов	Расчетные коэффициенты		Значения параметров критерия Фишера (F-критерия)	
		корреляции	детерминации	по факту	по справочной таблице
2*	12932x-1,625	0,959	0,920	1116,0	3,94
4*	18540x-1,862	0,965	0,931	603,6	4,02
6*	5458x-1,764	0,958	0,917	533,5	4,12
8*	1890,7x-1,621	0,930	0,865	344,2	4,28
10*	765,37x-1,555	0,946	0,895	116,9	4,41
12*	387,99x-1,566	0,918	0,843	66,3	4,96
14*	262,86x-1,959	0,965	0,932	69,8	7,71
2**	45837x-2,205	0,970	0,941	522,9	4,12
4**	7079,4x-1,515	0,935	0,874	663,5	3,94
6**	1502,9x-1,174	0,905	0,819	652,3	3,91
8**	229,38x-0,822	0,903	0,675	309,4	3,90
10**	33,671x-0,498	0,901	0,449	131,4	3,90

Периоды ветра: \* – энергетические; \*\* – аккумуляторные

Низкая плотность энергии солнечного излучения и ветра по сравнению с плотностью традиционных источников энергии, а также высокая стоимость их технического оснащения накладывают ограничения на их применение: они полезны преимущественно для маломощных удаленных потребителей, в чем можно убедиться, сравнив построение для такого рода потребителей систем электроснабжения, с использованием линии электропередач напряжением 10 кВ – и автономного электроснабжения на основе солнечной или ветровой электростанции.

Стоимость традиционно используемого варианта подачи электрической энергии зависит от протяженности линии электропередачи 10 кВ и мощности трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ. Низковольтные сети можно исключить из сравнительного анализа, так как они необходимы во всех вариантах и практически одинаковы по составу. Стоимость ветроэлектростанции или солнечной электростанции определяется мощностью потребителей электроэнергии и емкостью аккумуляторов (при аккумуляторном резерве).

Будем считать маломощным объектом объект с максимальной мощностью потребления электроэнергии не более 20 кВА. В этом случае мощность понизительной подстанции ТП10/0,4 можно принять 25 кВА. На основании прайс-листов [15] была установлена зависимость стоимости одного километра линии электропередачи ВЛ-10:

$$S_{ВЛ} = 1978,2 \cdot L, \quad (2)$$

где  $S_{ВЛ}$  – стоимость ВЛ-10 длиной  $L$  км, тыс. руб;  
 $L$  – протяженность ВЛ-10, км.

С учетом стоимости трансформаторной подстанции, уравнение (2) трансформируется в вид:

$$S_{ВЛ} = 1978,2 \cdot L + 800. \quad (3)$$

С использованием аналогичного подхода, основанного на затратах материальных средств, были получены эмпирические зависимости удельной стоимости фотоэлектрических модулей при условии, что они укомплектованы наиболее эффективными сегодня электрохимическими аккумуляторами и инверторами напряжения, а также контроллерами заряда [15].

Предполагаем, что аккумуляторный резерв использует только около половины солнечного сияния:

$$S_{ФЭП} = 0,9 \cdot N_{ФЭП} - 0,262, \quad (4)$$

где  $S_{ФЭП}$  – удельная стоимость ФЭП, тыс. руб/кВт;

$N_{ФЭП}$  – мощность ФЭП, кВт.

С учетом КПД фотоэлектрических преобразователей можно сравнить затраты на возведение линии электропередачи и на автономную солнечную электростанцию (рис. 4).

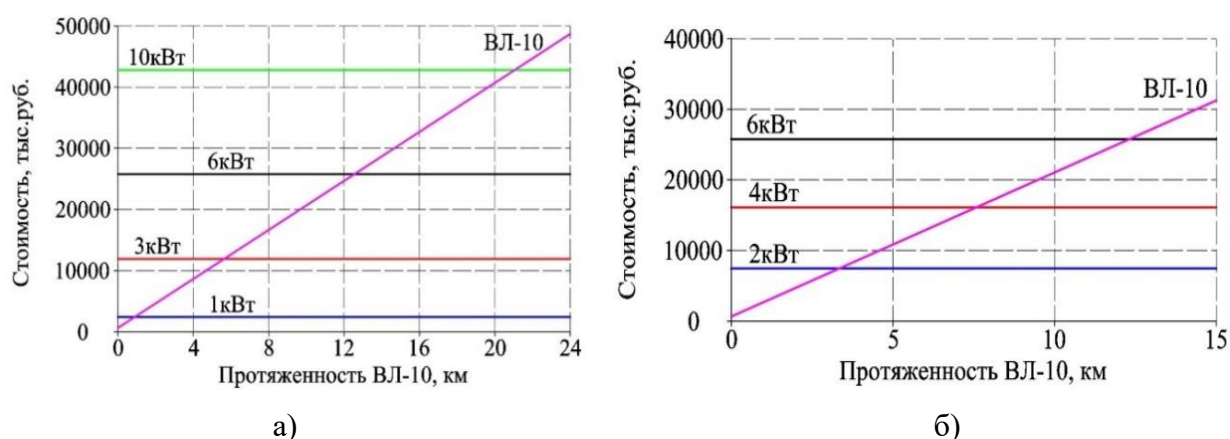


Рисунок 4. Зависимости стоимости ВЛ-10 и фотоэлектрических станций разной мощности 1, 3, 6, 10 кВт (а) и 2, 4, 6 кВт (б)

Figure 4. Dependences of the cost of OL-10 and photovoltaic stations of different capacities 1, 3, 6, 10 kW (a) and 2, 4, 6 kW (b)

Аналогичным образом было проведено сравнение автономной ветроэлектростанции (удельная стоимость с аккумуляторами, инверторами и вспомогательным оборудованием 812 тыс. руб/кВт) с традиционным электроснабжением по ВЛ-10 (рис. 4, б). При этом была принята классическая схема автономного электроснабжения, когда ветрогенератор работает только на зарядку аккумуляторов, которые затем через инвертор напряжения отдают электроэнергию потребителям. КПД ветрогенератора принят 0,45, он может быть максимально достигнут при использовании ветроустановок с горизонтальной осью вращения.

**Закключение.** Проведенный сравнительный анализ является оценочным; при проектировании электрической станции на основе преобразования солнечной или ветровой энергии необходимо учитывать особенности и параметры потребителя, а также показатели требуемой надежности электроснабжения, гарантированной интенсивности солнечного излучения, продолжительности энергетических и аккумуляторных периодов для конкретно выбранной рабочей скорости ветра, сложившихся рыночных цен на энергооборудование.

Однако предпроектная оценка потенциала солнечной и ветровой энергии отражает потенциальную конкурентоспособность фотоэлектрических и ветровых электростанций для организации электроснабжения домиков рыбака, охотничьих домиков, фермерских усадеб, дачных усадеб, загородных домов, передвижных пасек, летних доильных площадок с поголовьем до 10 голов, овцеводческих точек и тому подобных аналогичных производственных и бытовых сельскохозяйственных объектов.

#### Список источников литературы

1. Юдаев, И.В. Возобновляемые источники энергии: учебник для вузов / И. В. Юдаев, Ю. В. Даус, В. В. Гамага. – СПб.: Лань, 2021. – 328 с.
2. Амерханов, Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / Р. А. Амерханов. – Москва: Колос, 2003. – 532 с.
3. Воронин, С.М. Возобновляемые источники энергии и энергосбережение / С. М. Воронин, С. В. Оськин, А. Н. Головкин. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 267 с.
4. Григораш, О.В. Возобновляемые источники энергии: монография / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, Р. А. Сулейманов, Е. А. Власенко, А. Г. Власов. – Под общ.ред. О.В. Григораш. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 272 с.
5. Никитенко, Г.В. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения: монография / Г. В. Никитенко, Е. В. Коноплев. – Ставрополь: Ставропольский гос. аграрный ун-т АРГУС, 2008. – 152 с.
6. Daus, Y.V. Increasing Solar Radiation Flux on the Surface of Flat-Plate Solar Power Plants in Kamchatka Krai Conditions / Y. V. Daus, I. V. Yudaev, K. A. Pavlov, V. V. Dyachenko // Applied Solar Energy. – 2019. – Vol. 55, No. 2. – pp. 101–105.
7. Возобновляемые источники энергии в мире и в России [Электронный ресурс]. URL: [www.reenfor.org/upload/files/77f24b05ec0fe4d2d44dbb6e666f1c7f.pdf](http://www.reenfor.org/upload/files/77f24b05ec0fe4d2d44dbb6e666f1c7f.pdf).
8. Воронин, С.М. Уравнения для определения энергетических и аккумуляторных периодов ветра в Ростовской области / С. М. Воронин, И. В. Закиров, Ф. В. Закиров // Вестник аграрной науки Дона – 2014. – № 2. – С. 35–40.
9. Закиров, И.В. Получение функций энергетического и аккумуляторного периодов ветра для заданной скорости / И. В. Закиров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 03(117). – IDA [articleID]: 1171603072. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/03/pdf/72.pdf>.
10. Архив погоды в Ростове-на-Дону с 1999 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rostovmeteo.ru/archive.php>.
11. Даус, Ю.В. Оценка потенциала солнечной энергии Южного федерального округа / Ю. В. Даус // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 4(14). – С. 190–193.
12. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 1977. – 479 с.
13. Цыганов, В.В. Определение гарантированной интенсивности солнечного излучения для Ростовской области [Электронный ресурс] / В. В. Цыганов, С. М. Воронин, М. П. Котылевский // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 3. – URL: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st\\_352.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_352.doc).
14. Таблицы солнечной энергии и инсоляции в регионах России. URL: <https://realsolar.ru/article/solnechnye-batarei/kolichestvo-solnechnoy-energii-v-regionah-rossii/>.

15. Energo.house, Р. КПД солнечных панелей – самые эффективные фотоэлементы, расчет и схемы / Р. Energo.house // Энергоэффективные технологии. – 2022. – URL: <https://energo.house/sol/kpd-solnechnyh-batarej.html>.

### References

1. Yudaev, I.V., Daus, Yu.V. and Gamaga, V.V. (2021), *Vozobnovlyayemye istochniki energii: Uchebnik dlya vuzov* [Renewable energy sources: Textbook for universities], ed. Lan', St. Petersburg, Russia.
2. Amerkhanov, R.A. (2003), *Optimizatsiya sel'skokhozyaystvennykh energeticheskikh ustanovok s ispol'zovaniyem vozobnovlyayemykh vidov energii* [Optimization of agricultural power plants using renewable energy], Kolos, Moscow, Russia.
3. Voronin, S.M., Oskin, S.V. and Golovko A.N. (2006), *Vozobnovlyayemye istochniki energii i energosberezheniye* [Renewable energy sources and energy saving], KubSAU, Krasnodar, Russia.
4. Grigorash, O.V., Stepura, Yu.P., Suleimanov, R.A., Vlasenko, E.A. and Vlasov, A.G. (2012), *Vozobnovlyayemye istochniki energii: monografiya* [Renewable energy sources: monograph], KubSAU, Krasnodar, Russia.
5. Nikitenko, G.V. and Konoplev, E.V. (2008), *Vetroenergeticheskiye ustanovki v sistemakh avtonomnogo elektrosnabzheniya: monografiya* [Wind power installations in autonomous power supply systems: monograph], Stavropol State Agrarian University ARGUS, Stavropol, Russia.
6. Daus, Y.V., Yudaev, I.V., Pavlov, K.A. and Dyachenko, V.V. (2019), «Increasing Solar Radiation Flux on the Surface of Flat-Plate Solar Power Plants in Kamchatka Krai Conditions», *Applied Solar Energy*, Vol. 55, No. 2, pp. 101–105.
7. Renewable energy sources in the world and in Russia [Electronic resource]. Available at: [www.reenfor.org/upload/files/77f24b05ec0fe4d2d44dbb6e666f1c7f.pdf](http://www.reenfor.org/upload/files/77f24b05ec0fe4d2d44dbb6e666f1c7f.pdf).
8. Voronin, S.M., Zakirov, I.V. and Zakirov, F.V. (2014), «Equations for determining the energy and battery periods of the wind in the Rostov Region», *Don Agrarian Science Bulletin*, No. 2., pp. 35–40.
9. Zakirov, I.V. (2016), «Obtaining the functions of the energy and accumulator periods of the wind for a given speed» [Electronic resource], *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubGAU)*, No. 03, vol. 117, 1171603072. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2016/03/pdf/72.pdf>.
10. Weather archive in Rostov-on-Don since 1999 [Electronic resource]. Available at: <http://www.rostovmeteo.ru/archive.php>.
11. Daus, Yu. V. (2015), «Assessment of the solar energy potential of the Southern Federal District», *Innovations in agriculture*, No. 4, vol. 14, pp. 190–193.
12. Gmurman, V.E. (1977), *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics], Higher School, Moscow, Russia.
13. Tsyganov, V.V., Voronin, S.M. and Kotylevsky, M.P. (2018), «Determination of the guaranteed intensity of solar radiation for the Rostov Region», *AgroEcoInfo*, No. 3. Available at: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st\\_352.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_352.doc).
14. Tables of solar energy and insolation in the regions of Russia [Electronic resource]. Available at: <https://realsolar.ru/article/solnechnye-batarei/kolichestvo-solnechnoy-energii-v-regionah-rossii/>.
15. Energo.house, R. (2022), «Efficiency of solar panels – the most efficient photocells, calculation and schemes» [Electronic resource], Energy efficient technologies. Available at: <https://energo.house/sol/kpd-solnechnyh-batarej.html>.

### Сведения об авторах

**Юдаев Игорь Викторович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры применения электрической энергии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет», г. Краснодар, Россия;

<http://orcid.org/0000-0002-3435-4873>, SPIN-код: 6836-5529, Scopus author ID: 57191251878, Researcher ID: ААН-8298-2019; e-mail: etsh1965@mail.ru.

**Воронин Сергей Михайлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры агроинженерии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет им Б. Б. Городовикова», г. Элиста, Россия; SPIN-код: 4837-7269, Scopus author ID: 57202813147; e-mail: sm.voronin@yandex.ru.

**Очиров Нимя Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры агроинженерии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет им Б.Б. Городовикова», г. Элиста, Россия; SPIN-код: 4882-9087, Scopus author ID: 57225926467.

**Цыганов Василий Васильевич**, инженер, ООО «Агроконсалтинг», SPIN-код: 3417-0430; e-mail: tsyganov.vasily.v@gmail.com.

**Эвиев Валерий Андреевич**, доктор технических наук, декан инженерно-технологического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет им Б.Б. Городовикова», SPIN-код: 9621-2145, Scopus author ID: 57191970087; e-mail: aviev@yandex.ru.

#### Information about the authors

**Igor V. Yudaev**, Doc. Sci. (Eng.), Professor of the Electrical Energy Application Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University"; <http://orcid.org/0000-0002-3435-4873>, SPIN-code: 6836-5529, Scopus author ID: 57191251878, Researcher ID: ААН-8298-2019; e-mail: etsh1965@mail.ru.

**Sergey M. Voronin**, Doc. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Agricultural Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov", SPIN-code: 4837-7269, Scopus author ID: 57202813147; e-mail: sm.voronin@yandex.ru.

**Nimya G. Ochirov**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Agroengineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov", SPIN-code: 4882-9087, Scopus author ID: 57225926467.

**Vasily V. Tsyganov**, engineer, Agroconsulting LLC, SPIN-code: 3417-0430; e-mail: tsyganov.vasily.v@gmail.com.

**Valery A. Eviev**, Doc. Sci. (Eng.), Dean of the Faculty of Engineering and Technology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov", SPIN-code: 9621-2145, Scopus author ID: 57191970087; e-mail: aviev@yandex.ru.

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

*Статья поступила в редакцию 28.08.2023; одобрена после рецензирования 30.09.2023; принята к публикации 20.11.2023.*

*The article was submitted 28.08.2023; approved after reviewing 30.09.2023; accepted for publication 20.11.2023.*

**Требования к научным статьям, публикуемым в журнале  
 «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета»**

**Уважаемые коллеги!**

Санкт-Петербургским государственным аграрным университетом издается журнал «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета». С 2007 года журнал включен в утвержденный ВАК Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, где публикуются основные научные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени доктора или кандидата наук, а также в базу данных международной информационной системы AGRIS, в библиографическую базу данных – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещается на официальном сайте ФГБОУ ВО СПбГАУ. Подписной индекс – ВН 017771. Статьям присваивается DOI (цифровой идентификатор объекта). В журнале публикуются статьи по следующим группам специальностей:

- 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство; 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология; 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений; 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры;
- 4.2. Зоотехния и ветеринария: 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства; 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных;
- 4.3. Агроинженерия и пищевые технологии: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса; 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

**Основные требования к статьям**, предоставляемым для публикации в журнале:

1. Статья должна соответствовать основным научным направлениям журнала, а также содержать результаты научных исследований, теоретические, практические (инновационные) разработки, готовые для использования и являющиеся актуальными на современном этапе научного развития.
2. Размер текста статьи должен составлять 7-10 страниц на листах А4, шрифт Times New Roman, шрифт 14, межстрочный интервал – 1,5.

3. **В редакцию** необходимо предоставить следующие материалы:

- **текст статьи** на русском языке в бумажной версии (для сторонних авторов — в электронной; формат файла: doc, docx; на эл.почту [izvestiya@spbgau.ru](mailto:izvestiya@spbgau.ru)) согласно требованиям к структуре и содержанию статьи с обязательным указанием контактных телефонов авторов;
- **реферат (200–250 слов)** на русском и английском языках; **ключевые слова (не более 7 слов)** на русском и английском языках; **информацию об авторе** (авторах) статьи на русском и английском языках (звание, должность, электронная почта, место работы, адрес места работы).

Правила оформления статьи:

- номер УДК (12 шрифт светлый);
- ученая степень, (шрифт 12 строчный), **и.о. фамилия** (шрифт 12 жирный строчный);
- место работы (шрифт 12 строчный), e-mail (шрифт 12 строчный);
- **название статьи** (шрифт 14 жирный прописной);
- основной текст (шрифт 14 строчный);
- список источников литературы, **References** (шрифт 12 строчный жирный, разрезанный).

Текст статьи необходимо структурировать, используя подзаголовки соответствующих разделов: **введение; цель исследования; материалы, методы и объекты исследования; результаты исследования; выводы** (отмечать подзаголовки жирным шрифтом), список источников литературы.

**Список литературы:** не менее 10 источников, включая иностранные. Приводится на русском и английском языках – **References, стандарт «Harvard»**. Литература должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте (в порядке цитирования). Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например [1].

4. Поступившие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование и проверяются на заимствования в программе «Антиплагиат».

Редакция оставляет за собой право на воспроизведение поданных авторами материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража экземпляров.

**Подробная информация о журнале «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета» размещена на сайте <http://spbgau.ru/izvestiya>.**

ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Рецензируемый научный журнал  
4 номера в год  
№ 4 (73)

Подписано к печати 22.12.2023.  
Формат 60×84 1/8. П.л. 15. Тираж 1000. Заказ.  
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных оригиналов  
в Издательско-полиграфическом комплексе  
Санкт-Петербургского государственного аграрного университета  
г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2